



**André Lemos dos  
Santos**

**Cenários de tráfego em mesoescala: impacto nas  
emissões e consumos**



**André Lemos dos  
Santos**

**Cenários de tráfego em mesoescala: impacto nas  
emissões e consumos**

Dissertação apresentada à Universidade de Aveiro para cumprimento dos requisitos necessários à obtenção do grau de Mestre em Engenharia Mecânica, realizada sob a orientação científica da Professora Doutora Margarida Isabel Cabrita Marques Coelho, Professora Auxiliar do Departamento de Engenharia Mecânica da Universidade de Aveiro e da Doutora Tânia Daniela Lopes da Rocha Fontes, Investigadora de Pós-Doutoramento do Centro de Tecnologia Mecânica e Automação da Universidade de Aveiro.

## **Agradecimentos**

A realização desta dissertação de mestrado não teria sido possível sem o apoio das seguintes pessoas a quem quero exprimir os mais sinceros agradecimentos.

Começo por agradecer a Professora Margarida Coelho, orientadora deste trabalho, pelo imprescindível e valioso apoio prestado em todas as fases de dissertação. Agradeço ainda toda a disponibilidade e motivação que teve ao longo desta dissertação.

Gostaria de agradecer a minha co-orientadora Doutora Tânia Fontes, por toda a ajuda, disponibilidade e pelos seus comentários construtivos que teve ao longo desta dissertação. Da mesma forma agradeço-lhe a forma amiga como sempre me motivou.

Dirijo também os meus agradecimentos ao Eng<sup>o</sup>. Paulo Fernandes, Universidade de Aveiro ao Professor Xuesong, Universidade de UTAH e ao Eng<sup>o</sup>. Jeffrey Taylor, Universidade de UTAH, pela ajuda prestada.

Agradeço à minha família, aos amigos, e aos novos amigos que fiz durante o curso.

Finalmente, agradeço e dedico este trabalho aos meus pais e à minha irmã pelo apoio inesgotável, motivação e força.

Obrigado a todos vós!

-----

Este trabalho foi parcialmente financiado por fundos FEDER através do Programa Operacional “Fatores de Competitividade – COMPETE” e por financiamentos Nacionais através da FCT pelo projeto PTDC/SEN-TRA/115117/2009 (“SMARTDECISION: Sistema Inteligente de Suporte à Decisão de Percursos para uma Melhor Qualidade do Ar em Áreas Urbanas”).

## **Júri**

Presidente

**Professor Doutor José Paulo Oliveira Santos**  
Professor Auxiliar, Universidade de Aveiro

Coorientadora

**Doutora Tânia Daniela Lopes da Rocha Fontes**  
Investigadora de Pós-Doutoramento do Centro de Tecnologia Mecânica e Automação da  
Universidade de Aveiro

Arguente

**Professora Doutora Ana Maria César Bastos Silva**  
Professora Auxiliar, Departamento de Engenharia Civil da Faculdade de Ciências e Tecnologias da  
Universidade de Coimbra

## Palavras-chave

Tráfego rodoviário, modelo mesoscópico, matriz O/D, consumo de combustíveis, emissões, sistemas inteligentes de transportes.

## Resumo

A presente dissertação apresenta uma avaliação do impacto da ocorrência de incidentes de tráfego a uma escala regional (Porto - Aveiro) ao nível energético e ambiental. Para tal, foram definidos vários cenários que avaliam diferentes graus de informação recebidos pelos condutores através de sistemas de informação de tráfego (ATIS - Advanced Traveller Information Systems) quando ocorre um incidente de tráfego numa determinada via. O impacto foi avaliado em quatro rotas distintas: uma urbana (N109), uma suburbana (EN1) e duas autoestradas (A1 e A29). A análise foi efetuada com um modelo mesoscópico de tráfego (DTALite) e um modelo de emissões rodoviárias (CORINAIR).

Para alcançar os objetivos definidos, em primeiro lugar foram recolhidos dados do domínio em estudo relativos à caracterização da rede rodoviária, nomeadamente no que se refere aos limites de velocidade, número de vias, sinalização rodoviária, definição de zonas, e caracterização das viagens. Uma matriz Origem/Destino foi construída usando uma rotina do modelo DTALite (ODME) que permite ajustar os volumes observados em alguns pontos predefinidos. De modo a garantir resultados fiáveis, este modelo foi calibrado e validado tendo em conta métodos estatísticos que comparam os fluxos de tráfego e os tempos de viagem observados no terreno com os valores estimados pelo modelo. Após validação do cenário de referência, a plataforma de simulação foi usada para avaliar o impacto do uso e disponibilidade de informação ao nível das emissões de poluentes, quando ocorre um incidente de tráfego na A29 ou na EN1. Para isso, as variáveis de saída do modelo de tráfego foram usadas como variáveis de entrada no modelo de emissões usado para estimar as emissões de NO<sub>x</sub>, HC, PM, CO e CO<sub>2</sub>, bem como o consumo de combustível.

Os resultados indicam que os condutores conseguem alterar com facilidade a sua rota utilizando o ATIS. As rotas alternativas são importantes na redução das emissões e do consumo energético na via onde ocorre o incidente. Conclui-se que com a utilização do ATIS, é possível obter nas rotas onde ocorreu o incidente, uma redução das emissões e consumos de cerca de 1,2% em relação ao registado para o cenário base. Verificou-se que a A1 é a melhor rota alternativa face ao incidente ocorrido na autoestrada A29; essa alteração de rota conduz a um acréscimo de 1,2% nas emissões e no consumo de combustível. No incidente provocado na via suburbana EN1, a melhor rota alternativa é a N109; verifica-se que esse desvio de tráfego conduz a um aumento de apenas 0,9% em relação ao cenário base.

Os resultados obtidos indicam que a utilização do ATIS são uma mais-valia na redução das emissões e no consumo energético quando ocorrem incidentes de tráfego. Apesar de a nível regional, o impacto da ocorrência de um único incidente ser reduzido, estes sistemas apresentam características que indicam que durante a ocorrência de múltiplos incidentes numa rede deste tipo, as potencialidades de redução das emissões e consumos serem significativas na via onde ocorre o incidente.

## Keywords

Road traffic, mesoscopic model, OD matrix, fuel consumption, emissions, intelligent transport systems.

## Abstract

The presente Dissertation aims to evaluate the impact of traffic incidentes on a regional scale (Porto - Aveiro) at energetic and enviromental levels. Several scenarios that evaluate different degrees of information perceived by drivers (through the use of ATIS - Advanced Traveller Information Systems) when a traffic incident occur in a given route were analysed. The impact has been evaluated on four different routes: an urban (N109), a highway (EN1) and two motorways (A1 and A29). The analysis was performed with a mesoscopic traffic model (DTALite) and with a road emissions model (CORINAIR).

In order to achieve the objectives, data related to the characterization of the road network was collected in the study field, particularly: speed limits, number of lanes, road signs, definition of zones and characterization of the trips. An Origin/Destination matrix was built using a routine model of DTALite (ODME) that adjusts the observed volumes in some predefined points. To ensure reliable results, this model was calibrated and validated taking into account statistical methods that compare traffic flows and travel times observed in the field with the values estimated by the model. After validating the baseline scenario, the simulation platform was used to evaluate the emissions impact of the use and availability of information, when a traffic incident occurs on the roads A29 or EN1. The output variables of the traffic model were used as input variables of the emission model, where NO<sub>x</sub>, HC, PM, CO, CO<sub>2</sub> emissions and fuel consumption were calculated.

The results indicate that drivers can easily change their original route using ATIS and that the alternative routes are important in reducing emissions and energy consumption in the routes of the incident. It was concluded that, with the use of ATIS, a reduction in emissions and in fuel consumption of about 1.2% on the routes where the incident occurred can be obtained, in comparison with the baseline scenario. It was found that the best alternative route over the incident at A29 motorway is the alternative route A1, with an increase of 1.2% on the emissions and fuel consumption. In the incident occurring in EN1, the best alternative route is N109, with an increase of 0.9% compared to the baseline scenario.

The results indicate that the use of ATIS brings an advantage in reducing emissions and energy consumption when traffic incidents occur. Although in a regional level, the impact of the occurrence of a single incident in the entire network is not relevant in terms of emissions. These systems exhibit characteristics that indicate that during the occurrence of multiple incidents in a network of this type, the potential for reducing emissions and fuel consumption can be significant in the routes of the incident.

## Índice

Índice de figuras .....	i
Índice de Quadros .....	iv
Siglas e abreviaturas.....	v
1. Introdução e objetivos .....	1
1.1. Motivação.....	1
1.2. Objetivos .....	4
1.3. Estrutura da dissertação .....	5
2. Estado da arte .....	7
2.1. Utilização de ATIS durante situações de congestionamento .....	7
2.2. Modelação mesoscópica de tráfego .....	11
3. Metodologia .....	15
3.1. Caracterização da rede de estudo.....	17
3.1.1. Caracterização das Rotas.....	18
3.1.2. Rota 1: via A1.....	19
3.1.3. Rota 2: via A29.....	20
3.1.4. Rota 3: via EN1 .....	20
3.1.5. Rota 4: N109.....	21
3.2. Modelação de tráfego .....	21
3.2.1. Modelo de atribuição de tráfego .....	22
3.2.2. Geração de viagens .....	24
3.2.3. Zonamento .....	26
3.2.4. Matriz O/D.....	30
3.2.5. Avaliação .....	35
3.2.5.1. Calibração .....	36
3.2.5.2. Validação .....	38
3.3. Modelação de emissões .....	41
3.4. Definição de cenários .....	42
4. Apresentação e discussão de resultados .....	49
4.1. Avaliação do cenário de referência.....	49
4.2. Avaliação dos cenários de gestão de tráfego.....	52
4.2.1. Incidente na Rota: A29 .....	54
4.2.2. Incidente na Rota: EN1.....	60
5. Conclusões e trabalho futuro .....	67
Referências Bibliográficas .....	70
Anexos.....	73

Anexo 1 – Portagens aplicadas na rede de estudo. ....	73
Anexo 2 – Tipos de estradas do modelo DTALite.....	74
Anexo 3 – Variáveis de entrada e saída do modelo de tráfego DTALite.....	75
Anexo 4 – Rotas usadas na validação dos tempos de viagem. ....	78
Anexo 5 – Resultados de emissões e consumos por cenário e rota: incidente A29.....	79
Anexo 6 - Resultados de emissões e consumo por cenário e rota: incidente EN1 .....	83



## Índice de figuras

<b>Figura 1</b> - Consumo de energia no setor dos transportes (EEE-32 excluindo Islândia e Liechtenstein) (EEA 2013). ....	2
<b>Figura 2</b> - Tendências observadas na concentração total global de GEE (EEA 2013). ....	2
<b>Figura 3</b> - Nível de detalhe dos modelos de tráfego (Roadtraffic <i>In</i> Vilarinho 2008). ....	12
<b>Figura 4</b> - Metodologia usada.....	15
<b>Figura 5</b> - Rede de tráfego rodoviário em estudo (Porto- Aveiro). ....	18
<b>Figura 6</b> - Ilustração dos conjuntos de rotas entre Porto e Aveiro. ....	19
<b>Figura 7</b> - Entrada e saída de fluxos de tráfego numa via usando um modelo de tráfego estático (DTALite 2013). ....	22
<b>Figura 8</b> - Relação triangular entre fluxo e densidade (Daiheng Ni 2004).....	23
<b>Figura 9</b> - Propagação de onda para jusante (Daiheng Ni 2004).....	24
<b>Figura 10</b> - Propagação de onda para montante (Daiheng Ni 2004). ....	24
<b>Figura 11</b> - Metodologia de geração de viagens no modelo DTALite. ....	25
<b>Figura 12</b> - Rede de tráfego da área de estudo.....	27
<b>Figura 13</b> - Definição das três grandes regiões (NUTS III). ....	28
<b>Figura 14</b> - Localização das zonas em análise.....	29
<b>Figura 15</b> - Zona da fronteira entre duas regiões. ....	31
<b>Figura 16</b> - Programa de calibração (ODME) usado pelo DTALite. ....	33
<b>Figura 17</b> - Exemplo para cálculo da matriz de proporção de fluxo (DTALite 2013). ....	33
<b>Figura 18</b> - Matriz de proporção (DTALite 2013). ....	34
<b>Figura 19</b> - Esquema do processo de calibração e validação usado no modelo de tráfego. ....	35
<b>Figura 20</b> - Localização dos pontos (sensores) definidos na rede de estudo para realização do processo de calibração para a modelação da rede de tráfego para a região Porto-Aveiro.....	37

<b>Figura 21</b> - Localização dos sensores definidos na rede de estudo para realização do processo de validação para modelação da rede de tráfego para a região Porto-Aveiro...	40
<b>Figura 22</b> – Localização da ocorrência do incidente na: a) A29; e b) EN1.....	44
<b>Figura 23</b> – Tipos de informação disponível aos condutores.....	45
<b>Figura 24</b> – Recta de regressão linear entre os volumes de tráfego estimados vs volumes de tráfego observados no processo de calibração do modelo de tráfego.....	49
<b>Figura 25</b> – Recta de regressão linear entre os volumes de tráfego estimados vs volumes de tráfego observados no processo de validação do modelo de tráfego.....	50
<b>Figura 26</b> – Resultados de avaliação dos tempos de viagem simulados.....	52
<b>Figura 27</b> – Emissões de poluentes (NO <sub>x</sub> , HC, CO, PM e CO <sub>2</sub> ) e consumo de energia estimados para a rota 1: via A1, por cenário, para o período das 8 às 9h quando ocorre um incidente na A29.....	55
<b>Figura 28</b> – Emissões de poluentes (NO <sub>x</sub> , HC, CO, PM e CO <sub>2</sub> ) e consumo de energia estimados para a rota 2: via A29, por cenário, para o período das 8 às 9h quando ocorre um incidente na A29.....	56
<b>Figura 29</b> – Emissões de poluentes (NO <sub>x</sub> , HC, CO, PM e CO <sub>2</sub> ) e consumo de energia estimados para a rota 3: via EN1, por cenário, para o período das 8 às 9h quando ocorre um incidente na A29.....	57
<b>Figura 30</b> – Emissões de poluentes (NO <sub>x</sub> , HC, CO, PM e CO <sub>2</sub> ) e consumo de energia estimados para a rota 4: via N109, por cenário, para o período das 8 às 9h quando ocorre um incidente na A29.....	58
<b>Figura 31</b> – Emissões de poluentes (NO <sub>x</sub> , HC, CO, PM e CO <sub>2</sub> ) e consumo de energia estimados para a rota 1: via A1, por cenário, para o período das 8 às 9h quando ocorre um incidente na EN1.....	61
<b>Figura 32</b> – Emissões de poluentes (NO <sub>x</sub> , HC, CO, PM e CO <sub>2</sub> ) e consumo de energia estimados para a rota 2: via A29, por cenário, para o período das 8 às 9h quando ocorre um incidente na EN1.....	62
<b>Figura 33</b> – Emissões de poluentes (NO <sub>x</sub> , HC, CO, PM e CO <sub>2</sub> ) e consumo de energia estimados para a rota 3: via EN1, por cenário, para o período das 8 às 9h quando ocorre um incidente na EN1.....	63

**Figura 34** – Emissões de poluentes ( $\text{NO}_x$ , HC, CO, PM e  $\text{CO}_2$ ) e consumo de energia estimados para a rota 4: via N109, por cenário, para o período das 8h às 9h quando ocorre um incidente na EN1.....64

## Índice de Quadros

<b>Quadro 1</b> - Revisão bibliográfica sobre estudos de congestionamento de tráfego em zonas suburbanas. ....	8
<b>Quadro 2</b> - Revisão bibliográfica sobre estudos de modelação mesoscópica. ....	12
<b>Quadro 3</b> - Calendarização das tarefas. ....	16
<b>Quadro 4</b> – Matriz O/D para região do Porto (viagens/hora) (Oliveira et.,al 2007).....	30
<b>Quadro 5</b> - Matriz O/D para a região de Aveiro (viagens/hora) (PIMTRA 2012). ....	31
<b>Quadro 6</b> - Análise comparativa do GEH. ....	39
<b>Quadro 7</b> - Parâmetros estatísticos relativos à distribuição do tipo de combustível, idades dos veículos, cilindrada e peso bruto de veículos ligeiros de passageiros, ligeiros de mercadorias, pesados de passageiros, pesados de mercadorias e motociclos (Adaptado de: Coelho et al., (2014)) ....	42
<b>Quadro 8</b> - Definição dos cenários. ....	46
<b>Quadro 9</b> Resultados da validação dos fluxos de tráfego simulados. ....	51
<b>Quadro 10</b> – Comparação das emissões totais (NO <sub>x</sub> , HC, CO, PM e CO <sub>2</sub> ) e consumo (FC) nas quatro rotas (A1, A29, EN1 e N109) na direcção N→S, com acidente e sem acidente. ....	53
<b>Quadro 11</b> – Classificação dos cenários: incidente na A29. ....	59
<b>Quadro 12</b> – Resultados da classificação dos cenários por rota (A1, A29, EN1 e N109). ....	60
<b>Quadro 13</b> – Variáveis de desempenho da rede para o incidente ocorrido na A29, para o período de simulação (6h às 11h).....	60
<b>Quadro 14</b> – Classificação dos cenários: incidente na EN1. ....	65
<b>Quadro 15</b> – Resultados da classificação dos cenários por rota (A1, A29, EN1 e N109). ....	65
<b>Quadro 16</b> – Variáveis de desempenho da rede quando ocorre um incidente na EN1....	66

## **Siglas e abreviaturas**

AA – Acceleration Advisor

ADA – Assistência Avançada do Condutor

APTS - Advanced Public Transportation Systems

ATIS – Sistemas Avançados de Informação dos Viajantes

CELE – Comércio Europeu de Licenças de Emissão

CH<sub>4</sub> - Metano

CO – Monóxido de Carbono

CO<sub>2</sub> - Dióxido de Carbono

CoTEC – Cooperative traffic congestion detection

CORINAIR – CORE Inventory to AIR emissions

COVNM - Compostos Orgânicos Voláteis não metânicos.

DNL – Dynamic Network Loading

DSRC – Dedicated Short Range Communications

DTA – Dynamic Traffic Assignment

EEA – European Environment Agency (Agência Europeia do Ambiente)

ERF – European Union Road Federation

EUA – Estados Unidos da América

GEEs – Gases com Efeito de Estufa

GPS – Global Positioning System

HC - Hidrocarbonetos

IMTT – Instituto da Mobilidade dos Transportes Terrestres

ITS – Sistemas Inteligentes de Transportes

LDV – Light Duty Vehicle

NEXTA – Network Explorer for Analysis

NO<sub>x</sub> – Óxido de Azoto

N<sub>2</sub>O – Óxido Nitroso

NH<sub>3</sub> – Amoníaco

NUTS – Nomenclatura Comum das Unidades Territoriais Estatísticas

O/D – Origem/Destino

ODME - Origin Destination Demand Matrix Estimation

PAHs – Hidrocarbonetos Aromáticos Policíclicos

POPs – Poluentes Orgânicos Persistentes

PM – Partículas

SO<sub>x</sub> – Dióxido de Enxofre

UE – União Europeia

V2I – Vehicle to Infrastructure

V2V – Vehicle to Vehicle

VMS – Variable Message Signs

COV - Compostos Orgânicos Voláteis

VSP – Vehicle Specific Power

WLAN – Wireless Local Area Network

## **1. Introdução e objetivos**

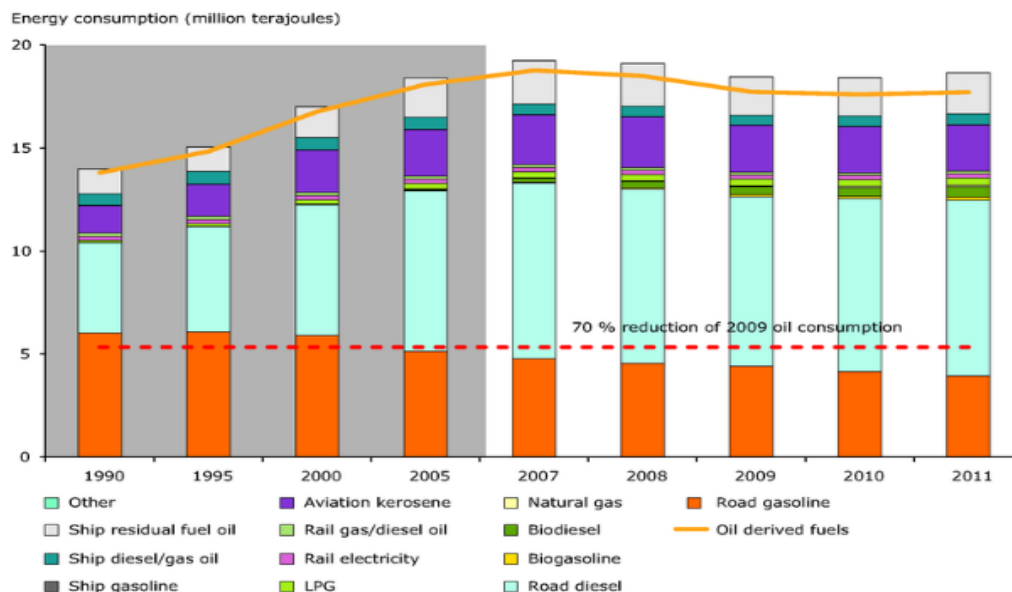
### **1.1. Motivação**

Nas últimas décadas tem-se verificado alterações climáticas devido ao grande aumento do consumo de energia e das emissões de Gases com Efeito de Estufa (GEE). Este aumento do impacto ambiental está diretamente relacionado com o aumento exponencial da população mundial, que passou em 1950 de 1,9 biliões de habitantes para 7 biliões em 2011 (UNFPA 2011).

Em 1988 houve uma reação internacional à escala global do Painel Intergovernamental sobre Alterações Climáticas (APA 2013). Mais tarde, em 1997 foi assinado o protocolo de Quioto, que permitiu uma redução de cerca de 8% de dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>). Esta redução deu-se devido à criação de um mercado global de emissões de carbono através do Comércio Europeu de Licenças de Emissão (CELE) e ao estabelecimento do Programa Europeu de Alterações Climáticas, contemplando um conjunto de medidas complementares ao CELE (APA 2013).

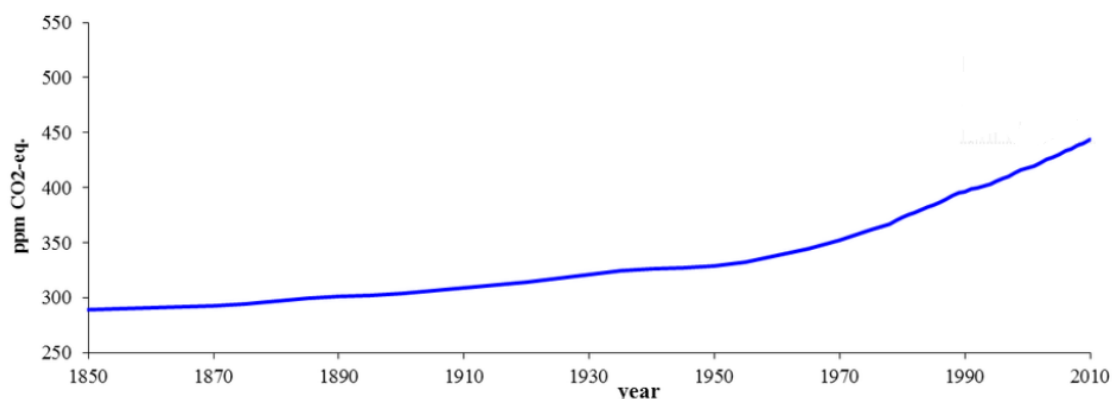
Na realidade, um dos grandes setores responsáveis pelo aumento do consumo de energia e de emissões é o dos transportes. Atualmente existem cerca de 850 milhões de automóveis no mundo (EEA 2013). Em 2050 prevê-se que este valor aumente para os 2 mil milhões, o que representa uma grande preocupação no que diz respeito ao aumento do consumo de combustíveis fósseis e produção de emissões (ERF 2011). Cerca de 32% da energia é consumida por este setor, 80% dos quais pelo transporte rodoviário (EEA 2013). Além disso, nos países da União Europeia (UE), o transporte rodoviário contribui com aproximadamente 39,4% de óxidos de azoto (NO<sub>x</sub>), 36,4% de monóxido de carbono (CO) e 17,9% de compostos orgânicos voláteis não metânicos (NMVOC) (EEA 2013).

Como se pode observar na Figura 1 o consumo de energia no setor dos transportes cresceu mais de 30% desde 1990 (EEA 2013), porém tem-se desde então registado uma melhoria da eficiência energética. A eficiência energética dos novos veículos ligeiros de passageiros melhorou mais de 20% na última década (EEA 2013). Além disso, os efeitos da recente recessão económica provocaram, a partir de 2008, uma diminuição acentuada do consumo global de energia (EEA 2013). Os registos mostram que em 2010, houve uma redução de 4,5% do consumo total de energia do setor dos transportes, em comparação com o pico global em 2007 (EEA 2013).



**Figura 1** - Consumo de energia no setor dos transportes (EEE-32 excluindo Islândia e Liechtenstein) (EEA 2013).

Os efeitos das melhorias de eficiência ao nível de transportes têm sido compensados por uma diminuição das emissões de poluentes locais ( $\text{CO}$ ,  $\text{NO}_x$ , Hidrocarbonetos (HC) e partículas (PM)) mas não ao nível dos poluentes globais ( $\text{CO}_2$ , metano ( $\text{CH}_4$ ), óxido nitroso ( $\text{N}_2\text{O}$ ) e HC) (EEA 2013). Na Figura 2, observa-se que as concentrações globais de GEE na atmosfera têm vindo a aumentar ano após ano. Em 2011, a concentração de  $\text{CO}_2$  atingiu um nível de 440 ppm. Em comparação com os níveis pré-industriais verifica-se um aumento de aproximadamente 112 ppm, cerca de 40% (EEA 2013). O principal aumento da concentração de  $\text{CO}_2$  é derivado da queima de combustíveis fósseis vinda de actividades humanas, principalmente através do setor dos transportes.



**Figura 2** - Tendências observadas na concentração total global de GEE (EEA 2013).

A ocorrência destes eventos gera um aumento do nível das emissões rodoviárias, contribuindo assim para o agravamento da degradação dos níveis de qualidade do ar. Por



outro lado, desde 1980, o número de quilómetros percorridos em zonas urbanas nos Estados Unidos da América aumentou em cerca de 40%, o que contribui também para o aumento das emissões de vários gases nomeadamente CO<sub>2</sub>, CO, HCs, NO<sub>x</sub>, VOCs e PM (EEA 2013).

Além do aumento dos níveis de consumo e emissões gerados durante as situações de congestionamento, o excessivo tempo de espera aumenta os níveis de stress dos condutores. Além disso, o aumento dos níveis de emissão tem contribuído para o aparecimento de doenças alérgicas, problemas respiratórios e problemas cardiovasculares derivados, situações que se tornam uma preocupação crescente quando o tempo médio de viagem pendular é elevado (Zhang et al. 2011).

Devido à relevância que as emissões provenientes do setor dos transportes rodoviários têm na atmosfera, os governos têm vindo a definir um conjunto de medidas que visam diminuir os níveis de poluentes provenientes do setor dos transportes. A UE lançou metas para alcançar uma redução de 60% das emissões comparativamente aos níveis de 1990, até ao ano de 2050. Melhorar o desempenho energético dos veículos em todos os modos, promover fontes de energia e sistemas de propulsão sustentáveis e utilizar de uma maneira mais eficiente infraestruturas de transportes, mediante Sistemas Inteligentes de Transportes são algumas dessas medidas (European Commission 2011).

Para ajudar a prevenir estas situações é preciso desenvolver novas tecnologias e incentivar os condutores a aderir a outros meios de mobilidade alternativos que ajudem a minimizar estas consequências negativas. A minimização destes impactos também pode ser alcançada através do uso de sistemas de informação de tráfego, que visam informar os condutores sobre a melhor rota tendo em conta informações do estado de circulação da via. Existem vários sistemas avançados para alertar os condutores de eventuais obstáculos que podem ocorrer. O V2V (Vehicle To Vehicle) e o V2I (Vehicle To Infrastructure) são tecnologias sem fios que utilizam sistemas de comunicação baseados na tecnologia WLAN (Wireless Local Area Network) e que permitem a troca de informações entre veículos ou infraestruturas fixas. Por outro lado, o VMS (Variable Message Signs) usa placas de informação cujo objetivo consiste em informar os condutores de incidentes em rotas. O VMS pode por vezes causar influência nas escolhas das rotas por parte dos condutores ao transmitir informações de que podem encontrar eventuais incidentes nas vias (Erke et al. 2007; Muller 2007). Outra forma eficiente para reduzir os consumos de combustível e as emissões de GEE é a prática de eco-condução. Esta técnica além de reduzir as emissões de GEE reduz também as emissões de gases poluentes. A sinistralidade também pode ser reduzida, tendo em conta que se diminuem as acelerações bruscas e as travagens, tornando assim as viagens mais confortáveis (IMTT 2012).

Tendo em conta todas estas questões, este trabalho preconizou a análise de cenários de tráfego a uma escala regional localizada na região entre o Porto e Aveiro. Esta região regista grandes volumes de tráfego e congestionamento, em particular durante o período da hora de ponta. Assim, selecionou-se este período para caracterizar os consumos energéticos e as emissões de modo a perceber se é possível minimizar os impactos ambientais em determinados cenários de incidentes de tráfego através da utilização de sistemas de informação.

Assim, a principal motivação desta dissertação consistiu em definir estratégias de gestão da rede de transportes e verificar qual é o tipo e quantidade de informação que mais poderá beneficiar o condutor de forma a minimizar o consumo de combustível e o nível de emissões rodoviárias, em particular durante situações de congestionamento de tráfego.

## **1.2. Objetivos**

O principal objetivo desta dissertação de mestrado consistiu em analisar qual é o impacto ambiental decorrente da utilização de sistemas de informação de tráfego numa rede de tráfego rodoviária regional. Para alcançar os objetivos delineados foi usado um modelo de tráfego e um modelo de emissões durante o período da hora de ponta. Para a modelação de tráfego utilizou-se o modelo mesoscópico DTALite (DTALite 2013) e para a estimativa das emissões rodoviárias de poluentes atmosféricos e consumos energéticos recorreu-se à metodologia CORINAIR (EMEP/EEA 2012).

O modelo de tráfego foi calibrado e validado com base em dados experimentais recolhidos previamente na área de estudo para o cenário de referência. Após validação deste modelo foram definidos vários cenários que, em função do tipo e da quantidade de informação recebida pelos condutores, permitem avaliar a melhor forma de gestão de um incidente de curta duração, como por exemplo a ocorrência de um acidente numa das vias de tráfego.

Cada um destes cenários foi avaliado ao nível dos consumos energéticos e de emissões atmosféricas. O caso de estudo foi centrado na rede rodoviária entre as regiões do Porto e Aveiro.

### **1.3. Estrutura da dissertação**

Para uma leitura mais simples e perceptível, a presente dissertação foi dividida em 5 capítulos fundamentais. A estrutura da dissertação foi criada para dar ao leitor um melhor enquadramento do tema e facilitar uma análise no seu estudo e leitura.

No capítulo 1, “Introdução e objetivos”, efetuou-se o enquadramento do tema da dissertação focando não só o aumento dos consumos energéticos e da poluição atmosférica, mas também algumas das medidas implementadas para redução desses impactos, como o desenvolvimento de veículos mais eficientes, a adesão de transportes públicos, eco-condução, desenvolvimento de novas tecnologias aplicadas ao setor dos transportes, etc.. Neste capítulo são também apresentados os objetivos e a estrutura da dissertação. No capítulo 2, “Estado da arte”, é apresentada a revisão bibliográfica de três principais temas para a realização desta dissertação: o congestionamento de tráfego, a utilização de sistemas inteligentes de transportes e a modelação mesoscópica de tráfego. Neste capítulo é explicado como é que os sistemas inteligentes de transportes podem ajudar a minimizar o congestionamento, e apresentam-se também aplicações e metodologias que os modelos mesoscópicos de tráfego têm aplicado na contextualização destes problemas. No capítulo 3, “Metodologia”, são apresentados os modelos e os dados usados para o desenvolvimento deste trabalho. Neste capítulo são também definidos diversos cenários de tráfego baseados na disponibilidade de informação ou ausência da mesma. No capítulo 4 serão apresentados e discutidos os resultados desta dissertação, através da avaliação dos cenários definidos previamente. No capítulo 5 são apresentadas as principais conclusões do trabalho, bem como o trabalho futuro.



## **2. Estado da arte**

Os Sistemas Inteligentes de Transportes (ITS), entre outras aplicações, têm vindo a ser usados para minimizar o efeito dos congestionamentos de tráfego, em sistemas de informação de passageiros, na vigilância (na deteção de incidentes), na gestão de estacionamento. Estes sistemas proporcionam serviços inovadores relacionados com diferentes modos de transporte e permitem a gestão de tráfego. Com estes sistemas os condutores têm acesso a mais informação tornando as suas deslocações mais seguras. Estes sistemas ajudam a prevenir situações de grande congestionamento e a minimizar o aumento do consumo de combustível e de emissões ocorridas durante a ocorrência de incidentes. A análise do impacto ambiental ao nível dos consumos energéticos e de emissões decorrentes da utilização do ATIS (Advanced Traveller Information Systems) durante situações de congestionamento são o principal tema desta dissertação. Assim, neste capítulo efetuou-se uma revisão bibliográfica sobre o impacto destes sistemas durante situações de congestionamento em redes regionais através da aplicação de modelos mesoscópicos de tráfego para análise dos consumos de combustíveis e emissões.

### **2.1. Utilização de ATIS durante situações de congestionamento**

O Quadro 1 apresenta uma síntese de vários estudos que avaliam o impacto do congestionamento de tráfego nas emissões e consumos de combustíveis, com e sem utilização de ATIS.

**Quadro 1** - Revisão bibliográfica sobre estudos de congestionamento de tráfego em zonas suburbanas.

Referência	Variáveis em estudo	ITS	Principais conclusões
(Zhang et al. 2011)	Emissões de CO, HC e NO <sub>x</sub>	-	As emissões de CO, HC e NO <sub>x</sub> aumentam devido à baixa velocidade de circulação e devido às acelerações. Perante zonas encerradas devido a obras, as emissões (CO, HC e NO <sub>x</sub> ) são mais baixas em relação a situações de congestionamento.
(Bigazzi & Figliozzi 2012)	Emissões de CO <sub>2</sub> , CO, NO <sub>x</sub> , HC e PM <sub>2,5</sub>	-	O congestionamento pode ser reduzido dentro de certos intervalos de velocidade (48 a 60 km/h) mas pode contribuir para o aumento de emissões de alguns gases como o CO <sub>2</sub> . A composição da frota influencia muito as emissões durante as situações de congestionamento.
(Chen & Yang 2012)	Emissões de CO, NO <sub>x</sub> e COVNM	-	Para minimizar as emissões totais provocadas pelos congestionamentos, é necessário aumentar o fluxo, assim a velocidade aumenta e provoca uma diminuição nas emissões.
(Ahn & Rakha 2008)	CO <sub>2</sub> , NO <sub>x</sub> e consumo de combustível	-	Nas autoestradas os veículos emitem uma quantidade elevada de CO <sub>2</sub> devido a altas velocidades. Com limites de velocidade inferiores, melhora-se os consumos de combustíveis e as emissões de CO <sub>2</sub> e NO <sub>x</sub> .
(Bandeira et al. 2012)	Emissões de CO <sub>2</sub> , CO, HC, NO <sub>x</sub> e consumo de combustível	-	As vias rápidas demonstram ser as melhores rotas alternativas em termos de redução do consumo de combustível e emissões de CO <sub>2</sub> . No entanto estas rotas produzem um aumento no CO, HC e NO <sub>x</sub> em cerca de 150%, 23% e 46%.
(Ericsson et al. 2006)	CO <sub>2</sub> e consumo de combustível	Sistema de navegação	46% de todas as viagens da cidade de Lund (Suécia), com duração de 5 minutos ou mais não usa a rota mais eficiente. É possível poupar cerca de 8,2% de combustível ao utilizar sistemas de navegação.
(Hu 2009)	Tempo de viagem	ATIS	Sem o uso de ATIS os tempos de viagem podem ter um acréscimo de 233% quando ocorre um incidente.
(Bigazzi & Figliozzi 2012)	-	CoTEC (V2V)	O CoTEC tem uma probabilidade acima dos 90% para detetar congestionamentos. Usando informação do CoTEC os condutores podem alterar a sua rota quando presentes em áreas congestionadas.
(Van Driel et al. 2007)	Emissões	ADA	Os sistemas que auxiliam condutores durante congestionamentos reduzem as emissões. Avisos de congestionamento não influenciam a decisão do condutor se forem avisados a 5 km dos engarrafamentos.
(Erke et al. 2007)	Velocidade de circulação	VMS	Um em cada cinco veículos muda para a rota indicada pelo VMS. Verificou-se uma grande redução de velocidade de circulação quando os veículos se aproximam do VMS.
(Flamm 2009)	Consumo de combustível	-	As tecnologias que suportam os condutores nas suas viagens não chegam para diminuir o consumo de combustível. As famílias têm cada vez menos atitudes que beneficiam o ambiente.

Zhang et al. (2011) realizou um estudo para analisar as emissões e consumos de combustíveis em veículos ligeiros de passageiros. Para tal, recolheu dados dos veículos, segundo a segundo, de velocidades e acelerações num segmento de uma autoestrada durante o fim-de-semana. Os dados foram retirados em horas de pico e em zonas de congestionamentos devido a obras. Os resultados indicam que quando o tráfego diminui de velocidade e está sujeito a acelerações devido às condições de congestionamento, verifica-se um aumento das emissões de CO, HC e NO<sub>x</sub>. Essas emissões tiveram um valor percentual muito menor quando os veículos se encontravam perante congestionamentos devido a zonas de trabalho. Por outro lado, Bigazzi & Figliozzi (2012) consideram que a mitigação do congestionamento não leva inevitavelmente à redução de emissões. Num período mais alargado, o congestionamento pode ser reduzido dentro de certos intervalos de velocidade (por exemplo 48 a 64 km/h) mas pode vir a aumentar as emissões de CO<sub>2</sub>, CO e NO<sub>x</sub> através

do aumento do número de viagens efetuadas. As emissões de HC e PM<sub>2,5</sub> têm um maior potencial na sua redução do que o CO<sub>2</sub>, CO e NO<sub>x</sub> quando se consegue uma redução do congestionamento. Porém, a velocidade de circulação não é o único fator influente nas emissões durante situações de congestionamento. A quantidade emitida de certos poluentes depende também do tipo de combustível consumido. Além disso, a composição da frota constitui um fator chave no impacto de emissões perante situações de congestionamento.

No que respeita às tecnologias de gestão de tráfego, Bandeira et al. (2012) explicam que estas podem ter impacto substancial sobre o consumo de combustível e emissões rodoviárias. Neste artigo foram usados veículos equipados com GPS (Global Positioning System) para recolher informação de tráfego. O estudo concluiu que a hora da viagem tem influência tanto em termos de tempo gasto como ao nível das emissões e consumos energéticos. A hora de ponta apresenta sempre os piores cenários. As vias rápidas com menos congestionamento demonstram ser as melhores alternativas em termos de redução de consumo de combustíveis e emissões de CO<sub>2</sub>. No entanto, estas mesmas rotas produziram aumentos em CO, HC e NO<sub>x</sub> em cerca de 150%, 23% e 46%.

Para tentar evitar situações de congestionamento do tráfego, é conveniente escolher a melhor rota. Segundo Ahn & Rakha (2008), geralmente os condutores escolhem as rotas que minimizam o tempo de viagem ou os custos de viagem. Isto levanta questões sobre a otimização de emissões e consumo ao longo das viagens. Os trabalhos desenvolvidos por estes autores demonstram que as rotas escolhidas pela autoestrada nem sempre são a melhor opção em termos ambientais e de consumo energético. Quando as velocidades do veículos são elevadas, as emissões de CO<sub>2</sub> e o consumo de combustível aumentam. Melhorias significativas no consumo de energia e nas emissões (principalmente no NO<sub>x</sub>) podem ser alcançadas quando os condutores optam por uma rota mais lenta. Por outro lado Chen & Yang (2012) explicam que quando uma estrada excede a sua capacidade de tráfego, se os condutores continuarem a optar por essa mesma estrada provocam congestionamentos. Para minimizar as emissões totais é necessário que haja um aumento do fluxo, assim a velocidade aumenta provocando uma diminuição nas emissões. Para estes autores uma alternativa eficiente e razoável é definir limites de velocidade.

Ericsson et al. (2006) avaliou a potencial redução de consumo de combustível e a emissão de CO<sub>2</sub> através de um sistema de navegação onde a otimização das escolhas das rotas é baseado no menor consumo total de combustível na cidade de Lund, Suécia (em vez do tempo e a distância mais curta). Os resultados mostram que há um claro potencial para este sistema de navegação em mostrar ao condutor qual é a melhor rota. Cerca de 46% de todas as viagens de Lund, com duração superior a 5 minutos, não usam a rota mais eficiente. Uma

média de 8,2% de combustível poderia ser economizado através do sistema de navegação. Quem utilizou o sistema nos percursos com mais de 5 minutos conseguiu uma redução de 4%.

Cada vez mais existe uma grande aposta nas tecnologias para combater o congestionamento. Segundo Taylor (2004) a inclusão da telemática no domínio do veículo tem gerado alguns desenvolvimentos em termos de reduções de consumos energéticos e de emissões atmosféricas. As implementações de ITS são cada vez mais usuais. As suas aplicações cobrem uma vasta gama e mostram muitos fatores de sistemas de planeamento de transportes. Os Sistemas Avançados de Informação (ATIS) podem ajudar na escolha de rota e nas decisões em relação ao tempo de cada viagem. Santa et al. (2008) explica que as comunicações de veículos estão-se a tornar em equipamentos essenciais para os veículos do futuro. Atualmente as comunicações entre veículos (V2V) são o principal objeto de investigação, pois já existem soluções em comercialização usando o sistema V2I. Já Bauza e Gozalvez (2012) avaliam o CoTEC (*Cooperative traffic congestion detection*), uma técnica cooperativa baseada nas comunicações V2V desenhada para detetar congestionamento de tráfego. O objectivo desta nova geração dos ITS é detetar e caracterizar congestionamentos provocados pelo tráfego. Este sistema é capaz de detetar congestionamentos com probabilidade acima dos 90%. O CoTEC sem a utilização de nenhuma infraestrutura pode caracterizar o comprimento e a intensidade do congestionamento encontrado sem requerer a nenhuma infraestrutura na via de tráfego. Usando esta informação os condutores podem alterar a sua rota quando presentes em áreas congestionadas.

Erke et al. (2007) analisa os efeitos que o VMS pode causar na influência da escolha da rota e o impacto causado na velocidade. Dois VMS foram usados, um para informar que a estrada à frente se encontrava encerrada e a outra para recomendar uma rota alternativa. O comportamento na escolha da rota, a velocidade e a travagem foram comparados entre veículos que se aproximaram do VMS. Os resultados indicam que a cada cinco veículos, um altera a sua rota consoante a indicação do VMS. Cerca de 3.342 veículos mostraram uma grande redução de velocidade, quando se aproximaram do VMS.

Prevê-se que nos próximos anos os condutores terão uma variedade cada vez maior da chamada Assistência Avançada do Conductor (ADA). Van Driel et al. (2007) explica que os sistemas que auxiliam os condutores durante situações de congestionamento podem ajudar na redução de emissões e no planeamento de viagens. Os avisos dos congestionamentos não devem ser administrados muito cedo, avisos de congestionamentos por exemplo a 5 km do engarrafamento podem ser muito breves podendo não ter nenhum impacto na reação dos condutores.



Apesar da existência da grande quantidade de tecnologias que suportam os condutores nas suas viagens, essas tecnologias não chegam para o auxílio da diminuição do consumo de combustível e de emissões se os condutores continuam a ter conduções agressivas. Além disso, cada vez há mais veículos por agregado familiar. Resultados indicam que as famílias têm cada vez menos atitudes que beneficiam o meio ambiente, mas há mais famílias a conduzirem automóveis mais eficientes (Flamm 2009).

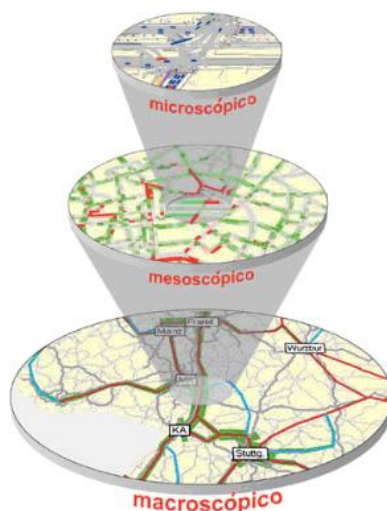
A análise bibliográfica indicou que o congestionamento é um problema do nosso quotidiano que tem consequências significativas ao nível do aumento das emissões, consumo de combustível e o tempo de viagens. Por outro lado, a revisão bibliográfica indicou que cada vez mais os condutores optam pelos sistemas inteligentes de transportes para melhorarem as suas condições de viagem e para economizarem as viagens efetuadas, porém o impacto destes sistemas no meio ambiente é ainda pouco conhecido.

## 2.2. Modelação mesoscópica de tráfego

Os modelos de tráfego apresentam hoje em dia um suporte importantíssimo na análise e estudo de cenários e de redes de tráfego. Estes modelos podem classificar-se quanto ao processo de escolha de rotas, quanto à forma como são obtidas as soluções, quanto às opções relativas à incorporação de efeitos dinâmicos do tráfego ou ainda relativamente ao nível do detalhe dos elementos modelados (Vasconcelos 2004). Assim, os modelos de tráfego podem ser classificados em três tipos (Figura 3):

- **Modelos macroscópicos:** caracterizam-se essencialmente pela análise de correntes de tráfego. É uma análise normalmente utilizada para grandes redes de estudo (ex: um país) focando as relações teóricas entre as variáveis fundamentais do tráfego (ex: fluxo, densidade e velocidade). Conduzem a soluções bem compreendidas e definidas e têm um tempo de execução extremamente curto;
- **Modelos mesoscópicos:** Este tipo de modelos avalia os fluxos ao longo da rede mas permite, sem descer às características individuais dos veículos. Consegue-se efetuar a simulação de fenómenos de tráfego causado por comportamentos individuais dos condutores. É uma mistura entre os modelos macroscópicos e os modelos microscópicos;
- **Modelos microscópicos:** Avaliam o tráfego detalhadamente representando interações complexas entre veículos. Neste modelo é dada mais importância às características dos veículos em redes de tráfego muito mais pequenas (ex:

cruzamento, rotunda, avenida). Analisam a dinâmica de cada veículo com base nas características do condutor e dos veículos.



**Figura 3** - Nível de detalhe dos modelos de tráfego (Roadtraffic *In* Vilarinho 2008).

O quadro 2 apresenta uma revisão bibliográfica sobre estudos de modelação mesoscópica referentes a análises de situações de congestionamento.

**Quadro 2** - Revisão bibliográfica sobre estudos de modelação mesoscópica.

Referência	Modelo	Principais conclusões
(Rouphail e Hu 2008)	DYNASMART-P	A informação recebida pelos condutores permite reduzir o congestionamento. Porém, o acesso a uma pré-informação nem sempre é benéfico, especialmente em redes de grande dimensão.
(Ben-Akiva et al. 2012)	DynaMIT-P	Boa capacidade de modelos DTA (atribuição de tráfego dinâmico) em avaliar estratégias de gestão para a mobilidade. Impondo uma política de restrição na procura podia-se reduzir o congestionamento.
(Hu 2009)	DYNASMART-P	Com a utilização do ATIS a diversificação dos condutores ao longo da rede aumenta, diminuindo significativamente o tempo médio de viagem. O número de paragens dos veículos devido ao congestionamento provocado pelos cenários também diminui com a utilização do ATIS.
(Aimsun 2013)	Aimsun	As vias reservadas aos jogos olímpicos vão consumir cerca de 30% da capacidade da estrada que a família olímpica vai utilizar, assim foi possível concluir que a via reservada poderia ser partilhada com os transportes públicos.
(Gori et al. 2012)	DYNAMEQ e EMME	Velocidades calculadas nas ligações do DYNAMEQ são maiores do que no EMME. Assim as emissões utilizando modelos dinâmicos normalmente são maiores do que as emissões estimadas em modelos estáticos se considerarmos a velocidade dos veículos nas estradas.
(Kristoffersson 2013)	CONTRAM	No cenário onde não era aplicado as tarifas foi identificado que 211 ligações em 5.116 da rede em estudo excederam a capacidade de tráfego nas ligações, durante a hora de ponta da manhã. Nos cenários onde eram aplicadas as tarifas notou-se um aumento de velocidade média dos veículos na rede.
(Toledo et al. 2010)	Mezzo	O Mezzo tem elevada consistência entre os valores simulados e os observados.

Rouphail e Hu (2008) avaliaram os potenciais benefícios derivados da mobilidade de uma implementação de rede (ubiquitous). Os sensores instalados nos veículos permitem a comunicação entre infraestruturas e outros veículos. Neste trabalho foi usado o

DYNASMART-P como modelo mesoscópico de tráfego para simular dois casos de estudo: a rede de Fort Worth, Texas, onde ocorreu um incidente no tráfego e em Knoxville, Tennessee, para simular uma inundação. Os resultados indicam que em ambos os cenários a informação recebida pelos condutores permitiu reduzir o congestionamento. No entanto, foi demonstrado que ter acesso a uma pré-informação nem sempre é benéfico, especialmente em redes de grande dimensão.

Ben-Akiva et al. (2012) utilizou o DynaMIT-P, um modelo de simulação mesoscópica de tráfego que foi melhorado e calibrado para capturar características do tráfego numa área suburbana de Pequim, China. A rede é composta por 1.698 nós e 3.180 ligações. Composta por uma área de 18 quilómetros quadrados, tem 2.927 pares origem/destino e 630.000 veículos. Durante a hora de ponta a simulação demorou cerca de 4 horas. Neste estudo foram identificadas características que causam o congestionamento, demonstrando a capacidade do modelo DTA (atribuição de tráfego dinâmico), para avaliar as estratégias de gestão para a mobilidade sobretudo em áreas altamente congestionadas. Em geral, os resultados indicam que, impondo uma política de restrição na procura, poder-se-ia melhorar significativamente a eficiência energética numa via de tráfego e reduzir o congestionamento.

Hu (2009) usou o DYNASMART-P para avaliar o comportamento dos condutores que não recebem informação do ATIS. Foi também estudado as características socio-económicas dos condutores face à resposta de informação de viagem (ATIS). Foi aplicado um caso de estudo com vários cenários. Num dos cenários colocou-se uma zona de trabalho durante a hora de pico (7h /às 8h) e incidentes que ocorrem durante a mesma hora (7h /às 8h), numa região em North Carolina, EUA. Os resultados indicam que com a utilização do ATIS a dispersão dos condutores ao longo da rede aumenta, diminuindo significativamente o tempo médio de viagem. O número de paragens dos veículos devido ao congestionamento provocado pelos cenários também diminuí com a utilização do ATIS. Este estudo demonstrou que a informação pré-recebida (ITS convencionais) pelos condutores nem sempre é benéfica em redes de grande escala devido à distância entre o local de partida da viagem e ao local do incidente.

O grupo Tectran está a usar o modelo Aimsun para o desenvolvimento de um plano estratégico de transportes para os jogos olímpicos e paraolímpicos de 2016 no Rio de Janeiro, Brasil. O plano inclui criar uma via especial que tem como principal objetivo dar prioridade de circulação aos automóveis dos atletas e funcionários dos jogos. O modelo Aimsun permitiu a análise do impacto de estratégias específicas sobre o tráfego do Rio de Janeiro, especialmente onde a procura geral do tráfego está acima da média. Com este trabalho foi possível concluir que os atletas e os funcionários vão ocupar apenas 30% das

vias de tráfego reservadas. Deste modo conclui-se que esta via poderá ser partilhada pelos transportes públicos para ter um melhor aproveitamento (Aimsun 2013).

De modo a comparar duas abordagens distintas, Gori et al. (2012) aplicaram o modelo mesoscópico DYNAMEQ e o do modelo macroscópico EMME para a cidade de Brindisi (Itália). A abordagem foi desenvolvida para estimar o consumo de combustível para veículos ligeiros (LDV) e taxas de emissões nas vias com base na velocidade. Os resultados indicam que a velocidade de circulação calculadas pelo DYNAMEQ são geralmente superiores às velocidades calculadas através do EMME, devido ao modelo DYNAMEQ ser um modelo DTA. Assim, se considerarmos apenas a velocidade como variável, as emissões utilizando modelos dinâmicos são normalmente maiores do que as emissões estimadas usando modelos estáticos.

Kristoffersson (2013) utiliza o modelo mesoscópico CONTRAM para verificar as alterações do tráfego com e sem taxamento de estradas na cidade de Estocolmo, Suécia. Neste trabalho foi definido um cenário base onde todas as vias foram calibradas utilizando referências de 2005, quando a cidade de Estocolmo ainda não tinha implementado um sistema de portagens urbanas. Depois foram definidos outros cenários com montantes diferentes. Em suma, no cenário onde não era aplicado o sistema de pagamento foram identificados 211 vias em 5.116 da rede em estudo a excederem a sua capacidade de tráfego durante as horas de ponta da manhã. Nos cenários de taxamento notou-se um aumento da velocidade média de circulação.

Toledo et al. (2010) apresenta um modelo de simulação de tráfego projetado para apoiar a avaliação das operações e planeamento do APTS (Advanced Public Transportation Systems). A simulação é construída sob a plataforma do modelo mesoscópico de tráfego Mezzo para avaliação de operações de tráfego com uma procura elevada numa via reservada a autocarros na área de Telavive, Israel. Os resultados indicam que este modelo apresenta consistência entre os valores observados e estimados.

A análise bibliográfica indica que os modelos mesoscópicos têm sido usados para avaliar o fluxo de tráfego em redes congestionadas. Os estudos demonstram a boa capacidade que os modelos mesoscópicos têm em avaliar estratégias de gestão para a mobilidade. Estes modelos são aplicados em vários cenários para diminuir o congestionamento. Os cenários aplicados com ITS avaliam os comportamentos dos condutores com informação face a incidentes. Os resultados destes cenários indicaram que a informação recebida pelos condutores causa uma redução do congestionamento.

### 3. Metodologia

Neste capítulo apresenta-se a metodologia desenvolvida para avaliação do impacto do uso de sistemas de informação de tráfego ao nível dos consumos energéticos e emissões rodoviárias para uma rede viária regional durante a hora de ponta. Para uma melhor compreensão da metodologia desta dissertação o esquema da Figura 4 apresenta as três fases mais relevantes do desenvolvimento deste trabalho. Na primeira fase procedeu-se à recolha de dados de campo para calibração e validação do modelo de tráfego (DTALite) e o modelo de emissões (CORINAIR) da rede em estudo, localizada entre Porto e Aveiro, nomeadamente no que diz respeito às características das zonas da rede em estudo, características das vias, fluxos de tráfego e viagens entre zonas. Na segunda fase é efetuada a calibração e validação dos resultados da plataforma de simulações para o cenário de referência. Na terceira fase são definidos vários cenários e para cada um destes cenários são estimadas as emissões e consumos energéticos utilizando os modelos previamente selecionados.

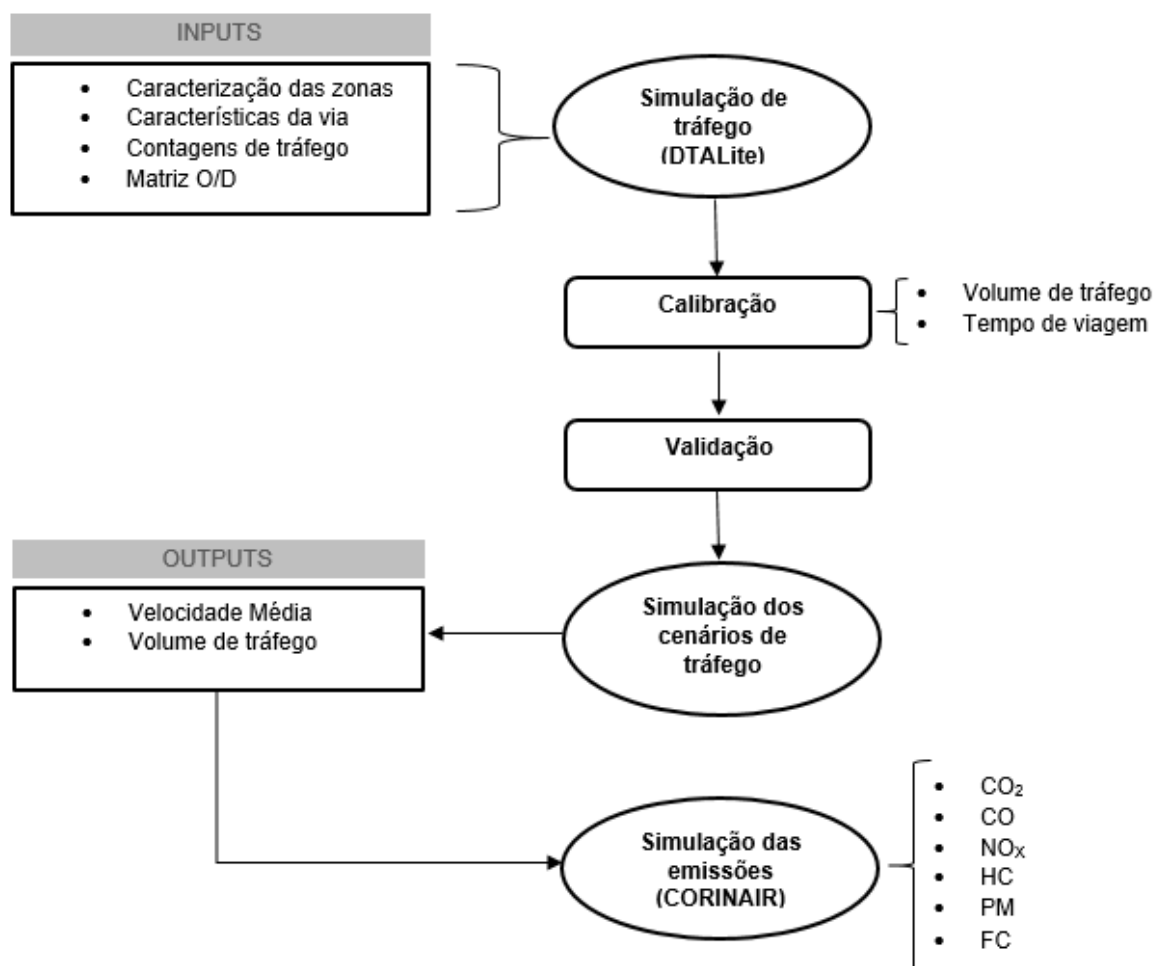


Figura 4 - Metodologia usada.

Para alcançar os objetivos definidos, o trabalho foi organizado em seis tarefas que se distribuem de acordo com o apresentado no Quadro 3.

**Quadro 3** - Calendarização das tarefas.

Tarefa	2013									
	Fev.	Mar.	Abr.	Mai.	Jun.	Jul.	Agos.	Set.	Out.	Nov.
1: Revisão bibliográfica										
2: Modelação de tráfego										
3: Definição de cenários de tráfego										
4: Modelação dos consumos energéticos e emissões										
5: Análise e discussão de resultados										
6: Escrita da Dissertação										

As tarefas apresentadas no Quadro 3 consistiram em:

- **Tarefa 1 – Revisão bibliográfica:** revisão da literatura técnica sobre os modelos de tráfego mesoescópicos e quantificação de consumos de combustíveis e emissões de poluentes para áreas suburbanas;
- **Tarefa 2 - Modelação de tráfego:** utilizou-se o modelo de tráfego DTALite, um modelo de afetação dinâmica, para a simulação do tráfego rodoviário registado na região entre Porto e Aveiro. A situação de referência do modelo, isto é, sem ocorrência de incidentes, foi validada com base em dados de volumes de tráfego e em dados experimentais instantâneos recolhidos através de um sistema de navegação GPS (posição, velocidade, aceleração, inclinação da estrada) em trabalhos previamente desenvolvidos (Almeida 2010;Bandeira et al., 2012;Carvalho 2011).
- **Tarefa 3 – Definição de cenários de tráfego:** foram definidos vários cenários de tráfego para a avaliação de políticas de gestão de tráfego aquando da ocorrência de incidentes, aplicando o conceito de afetação dinâmica de veículos. Estes cenários têm em vista a minimização dos consumos energéticos e de emissões;
- **Tarefa 4 - Modelação dos consumos energéticos e emissões atmosféricas:** estimou-se os consumos energéticos e as emissões em cada uma das vias de tráfego do domínio de estudo para a situação de referência e para cada um dos cenários definidos previamente. As emissões foram calculadas através da metodologia CORINAIR;
- **Tarefa 5 - Análise e discussão de resultados:** comparação e análise dos resultados

dos consumos energéticos e emissões para os diversos cenários definidos previamente. Para esta análise foram usadas técnicas estatísticas que permitem comparar os diferentes cenários;

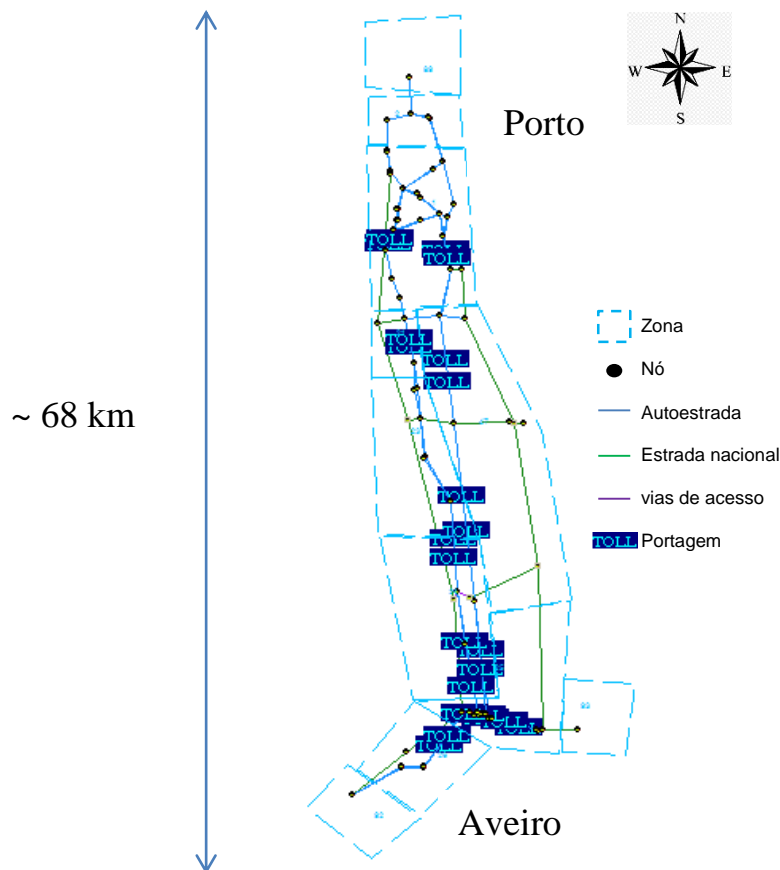
- **Tarefa 6 - Escrita da dissertação:** Escrita da dissertação de mestrado e de um artigo para submissão a uma conferência. Defesa da dissertação de mestrado.

### 3.1. Caracterização da rede de estudo

Para a conceção da rede é necessário introduzir variáveis de entrada que permita caracterizar a rede em estudo, tal como vias de tráfego, nós, e informação de portagens. A rede deve representar de forma real as estradas que a constituem. Na Figura 5 apresenta-se a rede de tráfego em estudo. A rede é constituído por:

- Número de vias de tráfego – 148;
- Número de nós – 81;
- Número de zonas – 11;
- Número de pares Origem/Destino (O/D) – 110.

Existem 24 vias com portagens, taxadas com os preços reais. No Anexo 1 são identificados todas as portagens aplicadas na rede para as vias A29, A1 e A25 respectivamente.

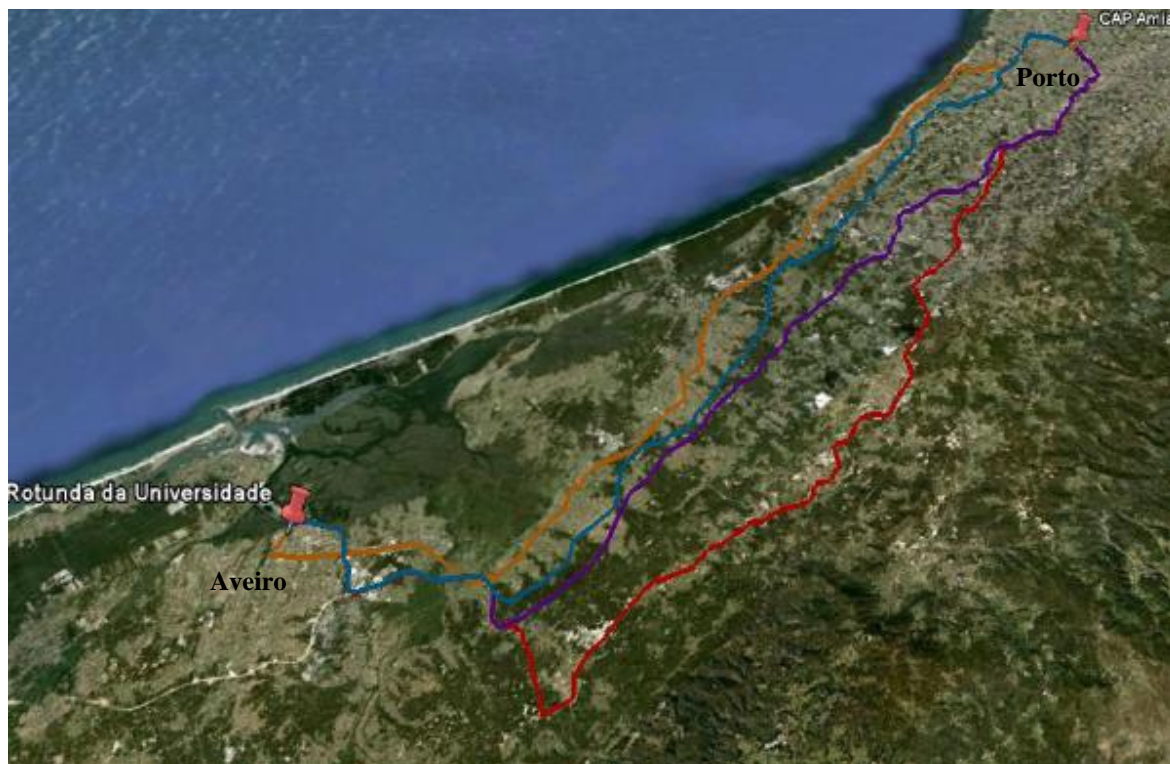


**Figura 5** - Rede de tráfego rodoviário em estudo (Porto- Aveiro).

### 3.1.1. Caracterização das Rotas

Na presente dissertação foram analisadas quatro rotas (Figura 6), todas com origem no concelho do Porto e destino final no concelho de Aveiro. Estas rotas apresentam características distintas, como tempos de viagem, distâncias e limites de velocidade referentes a cada tipologia de via. Na escolha destas rotas são analisados trajetos em meio urbano (N109), estrada nacional (EN1) e autoestrada (A1 e A29), de modo a observar diferenças que possam afetar os consumos de combustíveis e emissões dos veículos.





Legenda: 1) A1-Roxo; 2) A29-Azul; 3) EN1-vermelho; 4) N109-laranja.

**Figura 6** - Ilustração dos conjuntos de rotas entre Porto e Aveiro.

### 3.1.2. Rota 1: via A1

A rota 1 tem uma extensão aproximada de 77 km, e é um trajeto que tem como via principal a A1, uma das autoestradas mais relevantes e a mais longa do Portugal (cerca de 303 km no total) conectando as suas duas maiores cidades, Lisboa e Porto. Para aceder à A1 em Aveiro, é necessário utilizar a A25 como via auxiliar, implicando que quase todo o trajeto é feito em autoestrada (cerca de 90%). As principais características desta rota são as seguintes:

- Limite de velocidade de 120 km/h;
- Existem no mínimo 2 ou 3 vias de circulação em quase todo o trajeto;
- Bom estado de conservação do pavimento (não foi considerado na modelação mesoscópica de tráfego).
- Inexistência de circulação pedonal ao longo do trajeto.

A A1 é concessionada pela Brisa. Atualmente esta rota tem um custo de circulação (portagem) de 3,45 € (BRISA 2013).

### **3.1.3. Rota 2: via A29**

A rota 2 tem uma extensão aproximada de 76 km, e tem como via principal a utilização da A29. Esta via constitui uma alternativa paralela à A1 nas viagens entre Porto e Aveiro. Para aceder à A29 é necessário utilizar a A25 como via auxiliar. É predominantemente um trajeto feito em autoestrada (cerca de 70%). Existem várias características que distinguem a A29 da A1, nomeadamente:

- Presença de zonas de limite da velocidade de 100 km/h;
- Menor qualidade de conservação do pavimento em relação a A1 (não foi considerado na modelação mesoscópica de tráfego);
- Redução do número de vias de circulação, nomeadamente uma via em alguns sítios dos trajetos;
- Maior número de acelerações e desacelerações na autoestrada em zonas próximas da cidade do Porto;
- É uma via com uma elevada taxa de sinistralidade devido ao número de curvas com elevados ângulos e por ter vias com grande inclinação (não foi considerado na modelação mesoscópica de tráfego).

A A29 no dia 10 de Outubro de 2010 deixou de ter a adesão que tinha devido ao facto se pagar portagens, diminuindo assim a sua taxa de ocupação. Atualmente este trajeto tem um custo de 3,75 €.

### **3.1.4. Rota 3: via EN1**

A rota 3 tem uma extensão aproximada de 87 km. Esta rota utiliza autoestradas como percursos auxiliares à N1 e à Via de Cintura Interna (VCI). Interliga Aveiro à EN1 através da A25 e a EN1 à VCI através da A1. É um percurso misto de estradas nacionais e autoestradas. Outros aspetos peculiares deste percurso são:

- Trata-se do percurso mais longo, cerca de 10 km em relação aos outros percursos;
- Apresenta várias intersecções e rampas em relação aos dois primeiros trajetos, isto porque, é um trajeto feito em estrada nacional o que obriga a passagem por várias localidades;
- Apresenta um pavimento conservado (não foi considerado na modelação mesoscópica de tráfego);

- A densidade de tráfego é grande principalmente em horas de ponta, devido aos limites de velocidade em certas áreas dos trajetos, por exceder a capacidade da estrada e não haver portagens;
- É um percurso com uma só via de circulação, limitando as ultrapassagens.

A rota 3 por ser um percurso ausente de portagens, apresenta uma alternativa á rota 4 (ver secção 3.1.5).

### **3.1.5. Rota 4: N109**

A rota 4 tem uma extensão aproximada de 75,5 km. Esta rota é uma alternativa às rotas que utilizam maioritariamente as autoestradas (1 e 2). Apenas 3% desta rota é realizada em autoestrada. Em contrapartida a esta situação trata-se de uma rota que demora mais tempo a realizar relativamente às rotas que constituem trajetos realizados em autoestrada, isto por ser composta por estradas nacionais com limites de velocidade inferiores aos limites impostos nas autoestradas.

Por outro lado, por ser uma rota mais urbana regista um maior número de pára-arrancas ao longo do percurso contribuindo assim para o aumento do consumo de combustíveis e emissões. Outros aspetos característicos em relação a este percurso são:

- Trata-se de um percurso com uma vizinhança residencial, industrial e comercial/serviços;
- Os limites máximos de velocidade são de 50 a 70 km/h em quase todo o percurso;
- É o percurso com maior quantidade de intersecções e vias de acelerações/desacelerações.

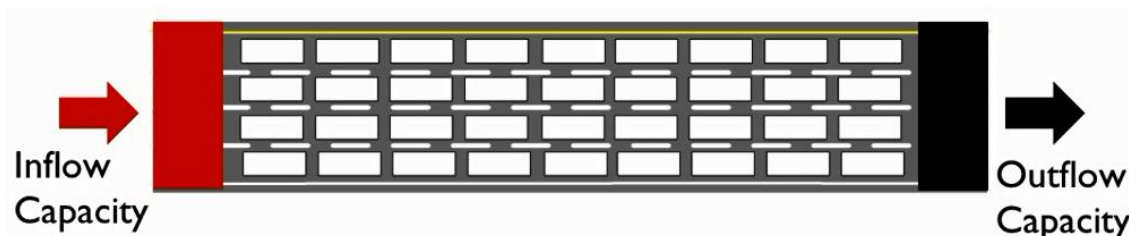
## **3.2. Modelação de tráfego**

Para análise da rede regional localizada entre as regiões do Porto e Aveiro, na presente dissertação será utilizado um modelo mesoscópico, o DTALite. Este modelo é classificado como um simulador dinâmico de tráfego e requer apenas um conjunto mínimo de dados de atribuição estática como valores de entrada e alguns valores dependentes do tempo (matriz O/D). O DTALite utiliza a interface gráfica NEXTA (Network Explorer for Analysis), que tem como objetivo facilitar a preparação, pós-processamento e a análise do conjunto de dados

para a simulação (DTALite 2013). Como modelo de fluxo, o DTALite utiliza o modelo simplificado da onda cinemática de Newell's. A simulação mesoscópica proporciona maior eficiência computacional pois permite uma simulação mais rápida (se comparado com redes do mesmo tamanho simuladas em modelos microscópicos) e permite a aplicação de redes maiores, em comparação com a simulação microscópica, para o mesmo período de análise (Primer 2011). Assim, com estes modelos pode – se estimar a evolução do tráfego de um modo dinâmico, permitindo uma análise aos fluxos de tráfego que resultam das viagens dos condutores (DynusT 2013).

### 3.2.1. Modelo de atribuição de tráfego

Existem dois tipos de modelos de atribuição de tráfego: o estático e o dinâmico. No modelo estático o volume de entrada é sempre igual ao de saída. Este modelo não relaciona o congestionamento com nenhuma variável física (velocidade, volume e densidade) numa determinada via, ou seja, estas variáveis mantêm-se constantes ao longo do espaço. O tempo aumenta quando o volume de entrada e de saída aumentam. A Figura 7 exemplifica o funcionamento deste modelo.

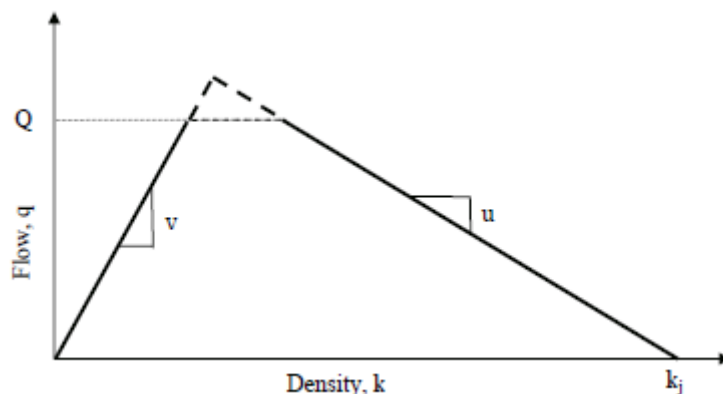


**Figura 7** - Entrada e saída de fluxos de tráfego numa via usando um modelo de tráfego estático (DTALite 2013).

Nos modelos dinâmicos, o tráfego é mais realista porque assegura a ligação direta entre o tempo de viagem e o congestionamento. Neste tipo de modelo já existe uma relação entre o congestionamento e as variáveis do fluxo de tráfego. A via de tráfego começa a ficar congestionada quando o fluxo de entrada num determinado local é maior que o fluxo de saída. Quanto mais tempo esta correlação existir (*inflow > outflow*), mais os veículos se acumulam nas vias. Quando o fluxo de entrada for igual ao fluxo de saída, o congestionamento continua a espalhar-se pelas outras vias que alimentam a via congestionada. As vias que alimentam a via congestionada ficam também elas congestionadas e torna-se um processo repetitivo ao longo das outras vias.

O modelo DTALite é um *software* de atribuição de tráfego (DTA). Estes modelos descrevem congestionamentos e dissipação de veículos em resposta a uma grande variedade de medidas de controlo de gestão de tráfego. Casas et al. (2011) explicam que os modelos mesoscópicos por combinarem modelos de fluxos dinâmicos conseguem modelar o tráfego interrompido em cruzamentos com mais facilidade, aproximando as simulações a situações reais. Permite ainda a modelação de grandes redes com maior eficiência computacional. Para este fim é essencial para os modelos DTA integrem um modelo DNL (Carregamento de redes Dinâmicas) capaz de descrever de forma realista a evolução do congestionamento de tráfego, interações entre fluxos de estradas e os efeitos da gestão e controlo de tráfego. Comparativamente com outros modelos que precisam de subdividir uma via longa em segmentos de curto comprimento, o modelo de Newell's, consegue lidar com vias longas com capacidade homogénea (Zhou & Lu 2009).

Os modelos DNL avaliam os aspetos temporais dos fluxos de rede e constitui um elemento crucial nos ITS. O modelo de DNL usado no DTALite incorpora o modelo simplificado da onda cinemática de Newell's. Newell's definiu uma relação triangular entre o fluxo e densidade, conforme apresentado na Figura 8.

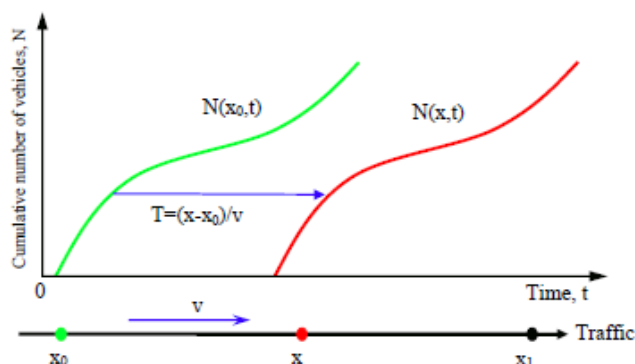


**Figura 8** - Relação triangular entre fluxo e densidade (Daiheng Ni 2004).

Este modelo utiliza as curvas cumulativas de chegada e partida, e fornece uma formulação matemática rigorosa que representa de modo realista as dinâmicas do tráfego, a captura das ondas para a frente e para trás devido a incidentes de tráfego ou congestionamento.

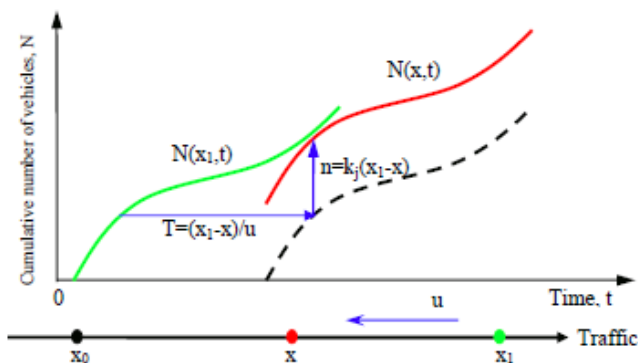
Quando a onda é propagada para a frente é sinal de que não existe congestionamento (Figura 9). O tráfego inicialmente começa com uma posição  $x_0$  e chega depois a posição  $x$  depois de efetuar a viagem. O tempo para atravessar o segmento da velocidade do fluxo é dado pela seguinte equação:  $(x-x_0)/v$ . O número acumulativo de veículos num determinado

espaço  $N(x,t)$  pode ser obtido pela translação da curva  $N(x_0,t)$  para a frente, horizontalmente e a direita até chegar a posição  $x$  (Daiheng Ni 2004).



**Figura 9** - Propagação de onda para jusante (Daiheng Ni 2004).

Ao contrário da Figura 9, na regra de propagação de ondas para montante (Figura 10) existe congestionamento. A perturbação (ex: congestionamento, incidente) numa localização  $x_1$  será sentida no local  $x$  depois de uma propagação de onda de sentido contrário. O tempo para esta onda de sentido contrário ao atravessar este segmento com uma velocidade de onda  $u$  será  $(x_1 - x)/u$ . Assim pode-se obter a curva cumulativa de veículos ao deslocá-la verticalmente para cima. Isto significa que o tráfego está congestionado  $k_j(x_1 - x)$ , onde  $x_0 < x < x_1$  e  $k_j$  representa a densidade do congestionamento nessa secção (Daiheng Ni 2004).



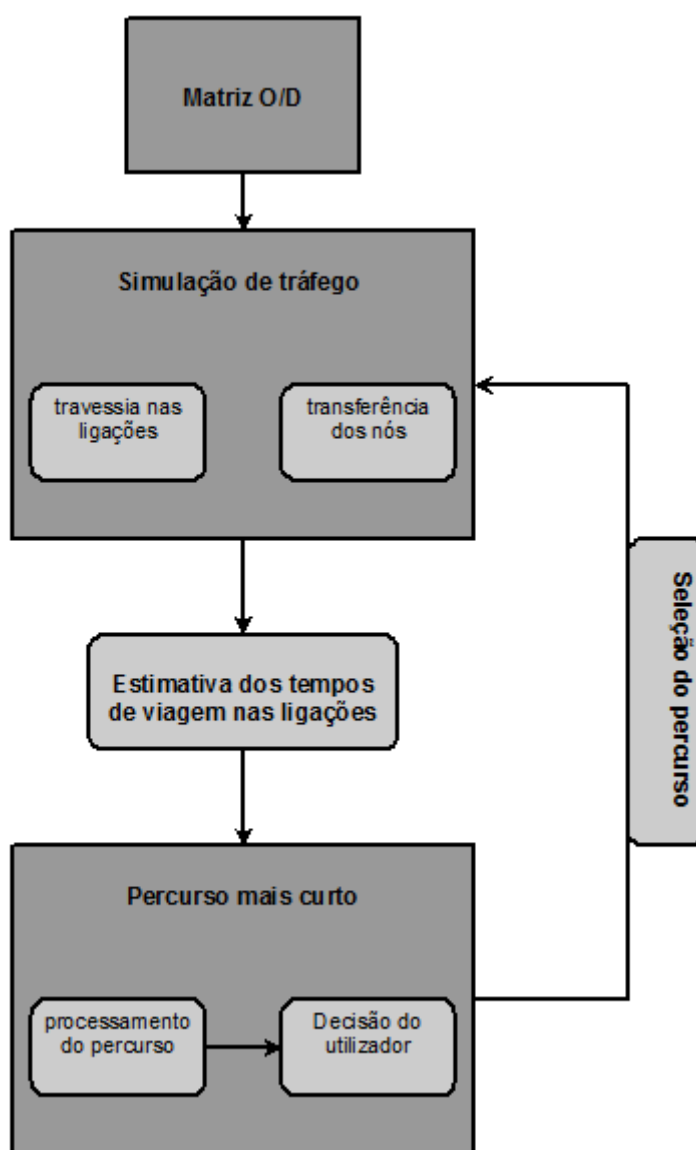
**Figura 10** - Propagação de onda para montante (Daiheng Ni 2004).

### 3.2.2. Geração de viagens

O objetivo dos modelos DTA consiste em determinar quais os fluxos de tráfego e condições que resultam devido às interações da procura em função das rotas selecionadas pelos condutores. O comportamento de escolha da rota por parte dos condutores baseia-se no

pressuposto de que os condutores estão destinados a viajar desde uma determinada origem até um determinado destino com o mínimo tempo de viagem.

Na Figura 11, podemos ver a metodologia de funcionamento da geração de viagens do DTALite. Numa primeira fase é inserida uma matriz O/D que fornece ao programa a informação de onde começam e onde terminam as viagens. Depois de inserida a matriz O/D o simulador de tráfego gera as viagens definidas anteriormente e acumula os tempos de viagens ao longo das vias. De seguida são processados todos os percursos e estes são ajustados consoante a informação do condutor. São novamente simulados os veículos a partir da sua origem até ao seu destino e são gerados novos tempos de viagem nas vias baseados nos percursos criados anteriormente (DTALite 2013).



**Figura 11** - Metodologia de geração de viagens no modelo DTALite.

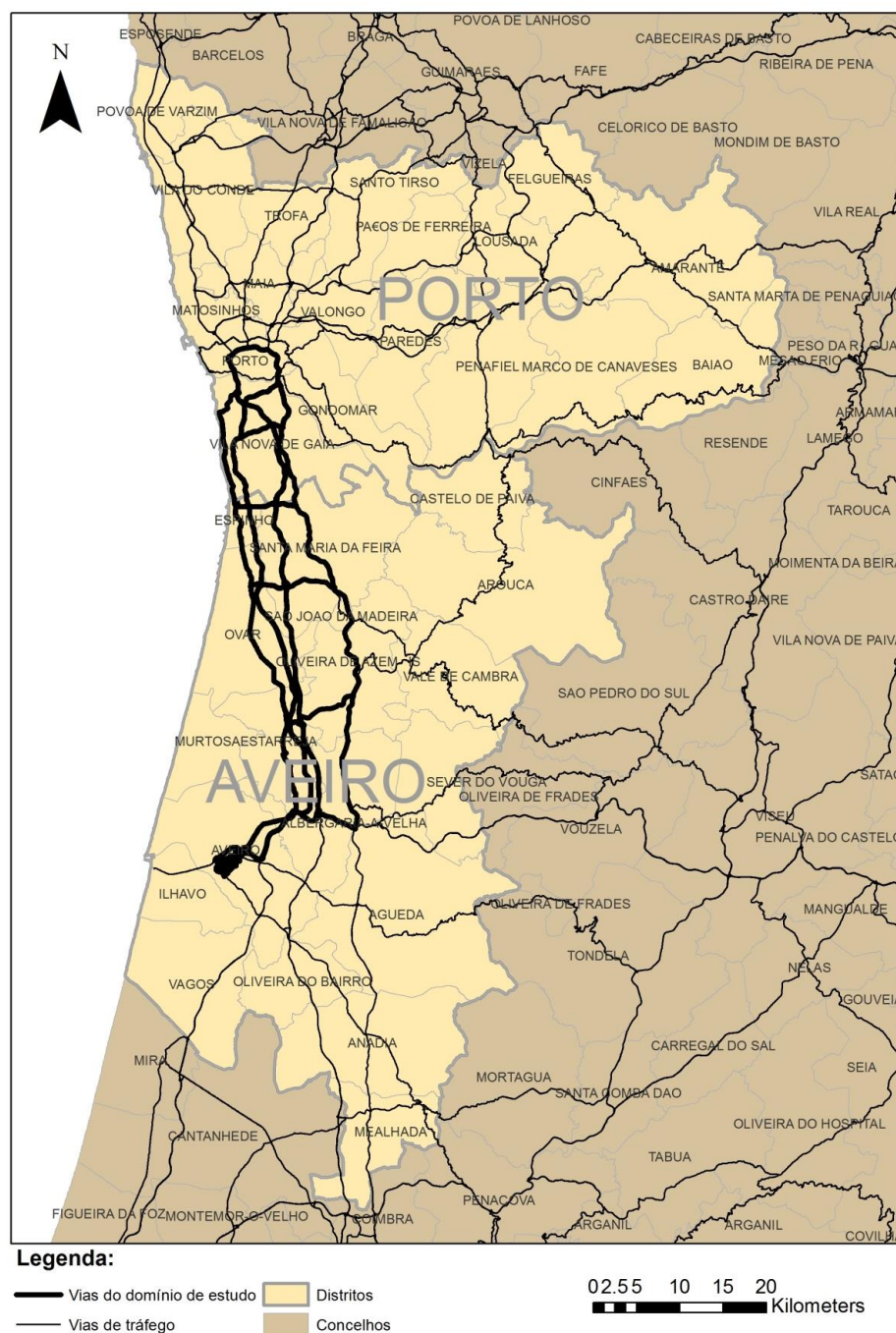
Para planejar e gerir uma rede de tráfego é necessário introduzir as suas principais características no modelo e definir algumas constantes. Como variáveis base é necessário introduzir nós e vias de circulação. Nos nós é definido a posição (latitude e longitude) e a tipologia, enquanto nas vias de circulação é necessário introduzir a extensão da via, a direcção, a velocidade máxima de circulação, a capacidade máxima, definir o nó de origem e destino, as portagens e a tipologia de estrada. No Anexo 2 estão definidos os tipos de vias de tráfego suportadas pelo modelo. Neste trabalho foram utilizados três tipos de vias de tráfego: autoestradas, estradas nacionais e vias de acesso. Existem outros dados de entrada consoante os cenários definidos. No Anexo 3 apresentam-se as variáveis de entrada e saída do modelo DTALite.

### **3.2.3. Zonamento**

A definição do zonamento é um passo fundamental no processo de compreensão das dinâmicas de mobilidade e de avaliação quantitativa das condições em que a acessibilidade é proporcionada às diferentes zonas que definem a área de intervenção (PIMTRA 2012).

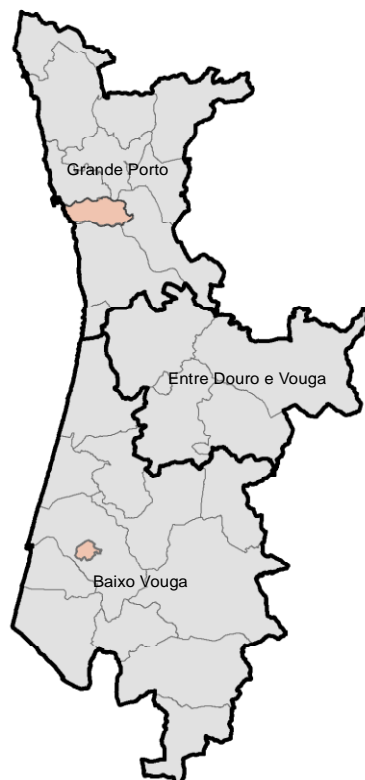
Para efetuar a modelação de tráfego é necessário definir matrizes de O/D compostas pelo número de viagens horárias entre uma zona (origem) e outra zona (destino). Estes dados são normalmente recolhidos por inquéritos à mobilidade para a rede de tráfego da área de estudo. A Figura 12 apresenta a amarelo claro as principais regiões abrangidas pelo domínio de estudo.





**Figura 12** - Rede de tráfego da área de estudo.

Para a definição das zonas de interesse, numa primeira fase dividiu-se a rede de estudo em três grandes zonas, consoante a região demográfica, correspondentes a sub-regiões (NUTS III): (i) a norte, a região do Grande Porto; (ii) ao centro, a região de Entre Douro e Vouga; e (iii) a sul, a região do Baixo Vouga (Figura 13).



**Figura 13** - Definição das três grandes regiões (NUTS III).

Após esta fase, o zonamento foi ajustado ao caso de estudo, logo alguns concelhos incorporados nas regiões definidas não serão considerados pois as rotas em estudo não atravessam esses concelhos. Contudo, alguns destes concelhos serão incluídos em termos de modelação como conectores das zonas exteriores da área simulada alimentados pela procura de viagens com destino no Porto ou em Aveiro. Isto é muito importante devido à elevada procura destes dois destinos maioritariamente influenciados pela realização de movimentos pendulares.

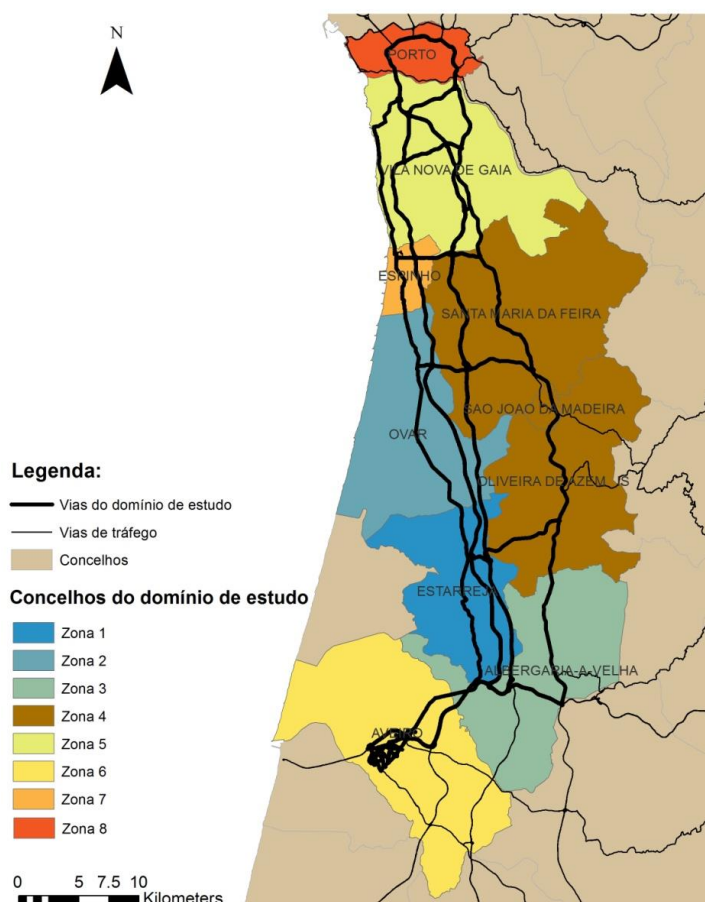
Assim, na região do Porto foram incluídos os concelhos de Gondomar, Maia, Matosinhos, Póvoa de Varzim, Valongo e Vila do Conde como um conector às zonas da área de estudo.

Na região de Entre Douro e Vouga existe uma limitação devido aos valores obtidos. Não se conseguiu obter valores para a matriz O/D dos concelhos separadamente. Assim, considerou-se o valor da região entre Douro e Vouga para uma zona que inclui apenas os seguintes concelhos: Santa Maria da Feira, São João da Madeira e Oliveira de Azeméis. Os concelhos de Arouca e Vale de Cambra não foram definidos como zonas mas a procura destes concelhos são incorporados na zona da região entre Douro e Vouga, por só ter um valor de matriz O/D que define a região.

Na região de Aveiro foram incluídos os concelhos de: Águeda, Anadia, Ílhavo, Oliveira do Bairro, Sever de Vouga e Vagos. Considerou-se como conectores para estes concelhos pois são muito relevantes quanto às viagens diárias efetuadas principalmente para o concelho de Aveiro.

Após a exclusão dos concelhos menos relevantes na área de estudo foram definidas oito zonas (Figura 14):

- Zona 1 - Estarreja;
- Zona 2 - Ovar;
- Zona 3 - Albergaria-a-Velha;
- Zona 4 - Entre Vouga e Douro (Santa Maria da Feira, São João da Madeira e Oliveira de Azeméis);
- Zona 5 - Vila Nova de Gaia;
- Zona 6 - Aveiro;
- Zona 7 - Espinho;
- Zona 8 - Porto.



**Figura 14** - Localização das zonas em análise.

### 3.2.4. Matriz O/D

A variável de entrada responsável pela geração das viagens no modelo de simulação de tráfego mesoscópico são as matrizes origem/destino (O/D). A matriz O/D contabiliza o número de viagens efetuadas na rede de tráfego em estudo e como serão distribuídas. Estas matrizes são normalmente obtidas essencialmente por duas formas:

- Através de inquéritos O/D associados a contagens de tráfego;
- Estimativa com base em contagens de tráfego.

Normalmente as viagens são contabilizadas a partir da procura dos condutores. As pessoas têm sempre um motivo diário para a sua deslocação (ex: emprego, escola, serviços, lazer). Porém, quando não se sabe exatamente onde a viagem começa e onde acaba é necessário agregar as origens e destinos através de um zonamento.

Os limites da matriz são as zonas da rede e são considerados locais de origem e destino para os trajetos. Enquanto o miolo da matriz são as viagens efetuadas entre os condutores quando efetuam viagens no intervalo das zonas de origem e zonas de destino. Assim, para o estudo destes modelos de simulação de tráfego é essencial determinar os percursos utilizados pelos condutores das várias zonas (pares O/D) para analisar os volumes de tráfego.

A pesquisa bibliográfica para o domínio de estudo indica que existem disponíveis duas matrizes O/D para a região em estudo: uma para a região de Porto (Quadro 4) e outra para a região do Aveiro (Quadro 5).

**Quadro 4** – Matriz O/D para região do Porto (viagens/hora) (Oliveira et.,al 2007).

O/D	Porto	Gaia	Espinho	Entre Vouga	Conexão (*)
Porto		2513	99	535	9038
Gaia	13445		985	2215	5577
Espinho	615	772		1193	170
Entre Vouga	1958	1907	783		453
Conexão (*)	33761	4707	126	828	

Conexão (\*) Matosinhos, Maia, Valongo, Gondomar, Povia de Varzim e Vila do Conde.

**Quadro 5** - Matriz O/D para a região de Aveiro (viagens/hora) (PIMTRA 2012).

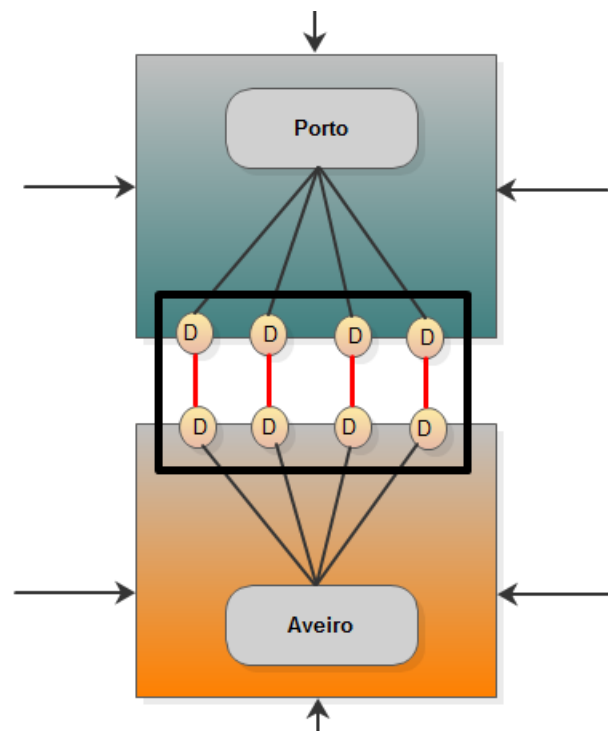
O/D	Aveiro	Ovar	Estarreja	Albergaria	Conexão (*)	Conexão (**)
Aveiro		4378	4318	4378	21294	5879
Ovar	1980		1717	91	47	123
Estarreja	4378	1671		472	288	86
Albergaria	4827	91	468		403	2463
Conexão (*)	21318	47	2856	470		5306
Conexão (**)	5901	123	126	2563	5562	

Conexão (\*) Oliveira do Bairro, Ílhavo e Vagos.

Conexão (\*\*) Sever de Vouga, Águeda e Anadia.

A conexão das duas regiões é difícil, pois, só existe informação da matriz O/D para a região de Porto e Aveiro individualmente, e não existe uma matriz O/D que faça ligação das viagens entre ambas as regiões.

Assim definiu-se uma zona fronteira para que o fluxo faça ligação entre a região do Porto e a Região de Aveiro (Figura 15).



**Figura 15** - Zona da fronteira entre duas regiões.

Para ultrapassar esta limitação de dados considerou-se, numa fase inicial, que a procura entre zonas é semelhante para as zonas que fazem fronteira entre as duas regiões:

- Entre Douro e Vouga -> Ovar = Entre Douro e Vouga -> Espinho
- Ovar -> Entre Douro e Vouga = Espinho -> Entre Douro e Vouga
- Espinho -> Ovar = Espinho -> Vila Nova de Gaia
- Ovar -> Espinho = Ovar -> Estarreja
- Entre Douro e Vouga -> Albergaria = Entre Douro e Vouga -> Gaia
- Albergaria -> Entre Douro e Vouga = Albergaria -> Aveiro

Esta abordagem apresenta muitas limitações, uma vez que a procura é influenciada por vários critérios como por exemplo a existência de determinadas infraestruturas e serviços. Ainda assim, esta matriz permitiu definir uma matriz inicial para todo o domínio de estudo, que entretanto será reajustada através do processo de calibração do modelo de tráfego.

Devido há falta de informação estatística que permita obter o número de viagens entre as zonas do Porto e Aveiro (matriz O/D entre Porto e Aveiro), fez-se uma junção das duas matrizes (Quadros 7 e 8) e colocou-se valores aleatórios nas restantes células, de modo a definir uma matriz global inicial. Esta matriz serviu como base para que o modelo ODME pudesse ajustar as viagens de acordo com os volumes observados em determinadas ligações.

Para construir a matriz O/D, o DTALite possui uma rotina própria, o ODME (Figura 16), que permite ao utilizador calibrar o modelo. Este programa tem como dados de entrada as contagens de tráfego observadas e as contagens estimadas para um determinado conjunto de pontos, denominados sensores. Com base nesta informação é possível estimar uma nova matriz O/D de modo a que as contagens estimadas se aproximem o máximo possível das contagens observadas.

Sensor Link=>	1->2	1->14	4->5	10->11	13->1	17->59	21->23	25->24	37->38	45->46	45->50	50->61	52->47	52->53	53->78	62->63	71->66	73->74
Name=>	(null) (N)	(null) (S)	(null) (S)	(null) (N)	(null) (S)	(null) (S)	(null) (S)	(null) (N)	(null) (W)	(null) (S)	(null) (N)	(null) (W)	(null) (S)	(null) (N)	(null) (W)	(null) (N)	(null) (N)	(null)
Deviation of Observed and Estimated Count=>	15838,37	9602,16	17771,76	459095,1	413559	335518	19014,9	633334,7	140748,6	1087152	589825,5	23762,75	262128	22218,5	175685,4	3411401	1951370	86227
Observed Count=>	3928	2932	5623	5623	3928	2277	830	1067	667	1365	1250	340	1511	991	574	571	1178	1
Target OD Volume	4053,851	2834,01	4289,89	6300,566	4571,09	2856,24	692,105	1862,823	291,8352	2407,67	481,999	494,1517	999,016	841,9413	993,1484	2417,998	2574,914	2120
Estimated OD volume: Estimated Flow count=>	10326	0,3829	0	0	0,5967	0,0212	0,0599	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,1
4273	4273	0	0,1711	0,498	0	0,502	0,2932	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,0
4138	4138	0	0	0	0	0	0	0	0	0,209	0	0	0	0	0	0	0	0
3895	3895	0	0	0	0	0	0	0,1173	0,0005	0,2164	0,0005	0	0,0005	0	0	0	0	0
3880	3880	0	0	0	0	0	0	0,1263	0	0	0	0,0008	0,0003	0	0	0,133	0,2515	0
3566	3566	0	0	0	0	0	0	0	0,3303	0	0	0	0	0	0	0	0	0
3201	3201	0	0,5005	0,4995	0	0,5005	0,0112	0,0003	0	0	0	0	0,149	0	0	0	0	0
2726	2726	0	0	0	0	0	0	0,0558	0,0847	0	0,175	0	0,0282	0,0792	0,0015	0,4475	0,2869	0
1906	1906	0	0,1925	0	0,0719	0,0719	0,0724	0	0	0	0	0	0,1506	0	0	0	0	0,0
1684	1684	0	0	0	0	0	0,0196	0	0	0,0065	0	0	0,0006	0	0	0,12	0,1188	0
1397	1397	0,0716	0,0336	0,0716	0	0	0	0	0	0	0	0,0007	0	0,4467	0,5956	0	0	0,1
1019	1019	0	0	0	0	0	0	0,0805	0	0,42	0	0,3739	0,0079	0	0,1521	0	0	0
929	929	0	0,0936	0,4984	0	0,5016	0,8687	0,0474	0	0	0	0,0022	0	0	0	0	0	0
882	882	0	0	0	0	0	0	0,0057	0	0	0	0	0,0181	0	0	0,1213	0,1156	0
628	628	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,336	0,5955	0
587	587	0	0	0	0	0	0	0,0204	0,0988	0	0	0	0	0	0	0	0	0
517	517	0	0	0	0	0	0	0,0232	0	0,501	0	0,2012	0,1973	0	0,0039	0	0	0
213	213	0	0	0	0	0	0	0,0423	0	0	0	0	0,1315	0,0094	0	0	0,4695	0
207	207	0	0	0	0	0	0	0,3092	0	0,0145	0,0145	0	0	0	0	0,7826	0,087	0
92	92	0	0	0	0	0	0	0,1739	0	0,0109	0	0	0	0	0	0	0,25	0
5	5	0	0	0	0,4	0,4	0,8	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
3	3	0	0	0	0	0	0	0	0,3333	0,3333	0	0	0	0	0	0	0	0

Figura 16 - Programa de calibração (ODME) usado pelo DTALite.

O ODME visa encontrar uma matriz O/D utilizando observações de fluxo de tráfego. O conceito mais importante no ODME consiste em ligar as observações com variáveis desconhecidas (a matriz O/D a ser estimada). Para tal, é necessário calcular a matriz de proporção de fluxo relativamente às vias. A matriz de proporção de fluxo indica a proporção de veículos que optam por determinado caminho entre um par O/D. Quando existe múltiplos caminhos entre um par O/D é necessário perceber quais são os caminhos habituais adotados pelos condutores. O modelo de tráfego calcula de forma automática a matriz de proporção de fluxo nas vias. Na Figura 17 é apresentada a metodologia de cálculo em que se baseia o DTALite para o cálculo desta matriz.

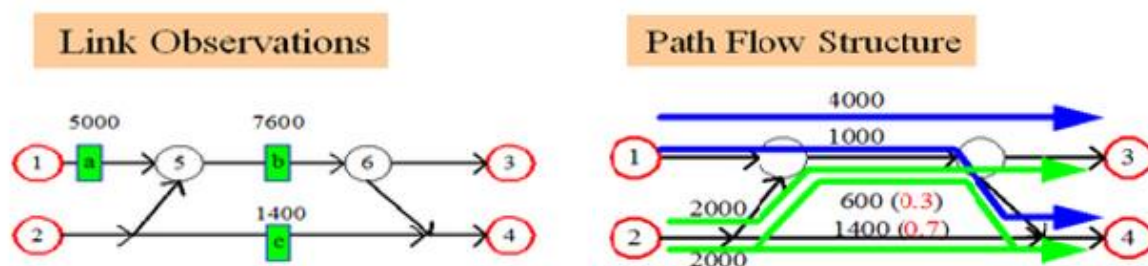


Figura 17 - Exemplo para cálculo da matriz de proporção de fluxo (DTALite 2013).

Neste exemplo estão definidas 4 zonas, das quais os nós 1 e 2 são zonas de origem e os nós 3 e 4 como zonas de destino. Três vias estão equipadas com sensores, com contagens de 5000, 7600 e 1400 veh/h. A matriz de proporção descreve o fluxo dos pares O/D passando



pelas vias. A metodologia consiste em obrigar a que todo o tráfego da zona 1 para a zona 3 tenha que passar pela via b, logo a proporção é igual a 1.

São definidos dois caminhos da zona 2 para a zona 4, 30% utiliza a via b e 70% a via c. Assim a proporção de fluxo para a via b é de 0,3 e para a via c é de 0,7. Na Figura 18 apresenta-se os restantes fluxos do exemplo.

OD pair	1->3	1->4	2->3	2->4
Link a	1	1	0	0
Link b	1	1	1	0.3
Link c	0	0	0	0.7

**Figura 18** - Matriz de proporção (DTALite 2013).

O programa utiliza uma função para minimizar desvios entre os valores estimados e os observados em cada via em função da matriz O/D e calcula uma nova matriz O/D quando aproxima os valores estimados dos observados. A função utilizada no processo de otimização é:

$$\min L = \sum_i \left[ \sum_j (P_{i,(ij)} \times d(ij)) - c' \right]^2 + \sum_{i,s} \left[ \sum_j (P_{i,s,(ij)} \times d(ij)) - c'_{i,s} \right]^2 + [d(ij) - d'(ij)]^2$$

Em que:

- $i,s$ : via da rede de transporte;
- $c$ : vetor do tráfego estimado nas vias;
- $c'$ : vetor do tráfego observado nas vias;
- $D$ : matriz O/D do tráfego  $[d(ij)]$  da origem  $i$  para o destino  $j$ , onde  $d(ij) \geq 0$ ;
- $D'$ : matriz O/D a ser estimada  $[d'(ij)]$  da origem  $i$  para o destino  $j$ ;
- $P_{i,(ij)}$ : Proporção da matriz de fluxo que descreve a fração de veículos da procura a partir de um determinado par O/D contribuindo para o fluxo da rede (obtido a partir do DTALite).

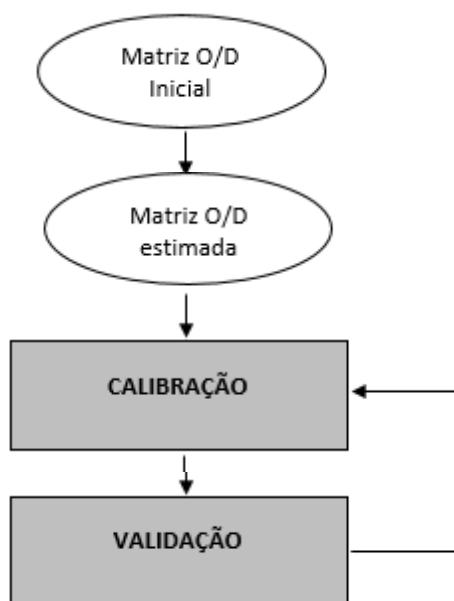
Para comparar os resultados da matriz estimada, utilizou-se a regressão linear. Na regressão linear, utiliza-se um gráfico de dispersão comparando as variáveis observadas e as simuladas. A representação é associada a uma recta de regressão linear, a equação  $y=x$ , ou seja, declive igual a 1. Quanto mais próximos estiverem os pontos dessa reta, maior será o coeficiente de determinação,  $r^2$ , e portanto maior será a qualidade da matriz gerada.



### 3.2.5. Avaliação

A avaliação do modelo de tráfego foi realizada em duas fases: calibração e validação. Na fase de calibração usou-se a subrotina ODME (Origin Destination Demand Matrix Estimation) para otimização da matriz O/D, enquanto na fase de validação se usou diversos parâmetros estatísticos para verificar se os valores estimados de volumes de tráfego e tempo de viagem eram semelhantes aos valores observados no terreno.

Para calibrar os volumes de tráfego e tempos de viagem, foi usada uma matriz O/D inicial no modelo de tráfego. A partir desta estimou-se uma nova matriz através do modelo ODME. Esta matriz foi calibrada para um conjunto de pontos (sensores) localizados no domínio de estudo. Quando se considerou que os valores da calibração eram aceitáveis, foi efetuado o processo de validação do modelo. Neste processo, selecionou-se um conjunto de pontos diferentes dos usados no processo de calibração e analisaram-se os resultados para esses novos pontos. Este processo de calibração/validação, repetiu-se até que os resultados obtidos pelo ajuste da matriz O/D permitiu obter bons resultados em ambos os processos (Figura 19). A calibração e validação foi efetuada para a hora de pico das 8 às 9h.



**Figura 19** - Esquema do processo de calibração e validação usado no modelo de tráfego.

### 3.2.5.1. Calibração

Uma consideração relevante nos modelos de tráfego é o número de simulações que são necessárias para garantir resultados estatisticamente fiáveis. Em modelos estocásticos como no caso do DTALite, números aleatórios são usados para atribuir diferentes valores aos parâmetros, de modo a garantir que um único conjunto de parâmetros corresponde a uma única solução correta. O *random seed* (semente aleatória) é uma das definições do DTALite que é ajustada para introduzir mais ou menos aleatoriedade no modelo. O número de simulação pode ser determinado utilizando a média e a variância de uma ou várias medidas de desempenho do tráfego. Neste trabalho foi utilizado o volume de tráfego como medida de desempenho. A equação utilizada neste processo foi a seguinte (Archer 2005):

$$N = t_{\alpha, 2} \times \left( \frac{\delta}{\mu * \varepsilon} \right)$$

Onde:

$\varepsilon$ : denota o erro admissível especificado como uma fração da média;

$t_{\alpha, 2}$ : valor crítico da distribuição do t-student para um intervalo de confiança de  $1 - \alpha$ ;

$\mu$ : Média da medida de desempenho;

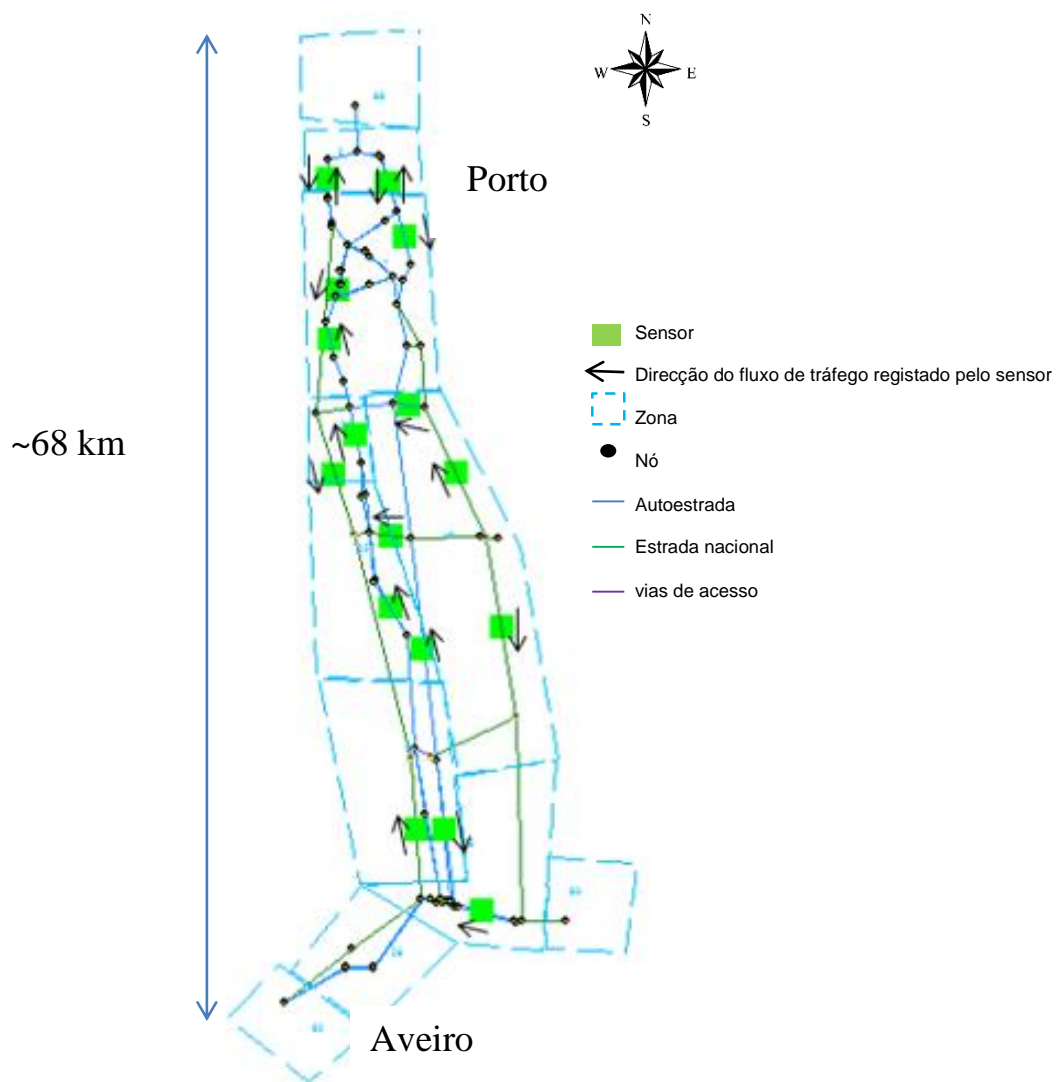
$\delta$ : Desvio padrão da amostra.

Para calibrar os fluxos de tráfego para a região entre Porto e Aveiro foram definidos os seguintes passos:

- **Avaliação da qualidade das variáveis de entrada do modelo:** assegurou-se que os dados de entrada estavam bem introduzidos, nomeadamente no que respeita à geometria da rede, valores relativos aos limites máximos de velocidade de circulação, extensão da via, capacidade da via, tipologia dos nós de ligação, existência ou não de portagens, e matriz O/D. Este trabalho foi realizado para aproximar os resultados da rede à realidade e assegurar assim bons resultados;
  - **Avaliação qualitativa dos resultados do modelo de tráfego:** depois de preparadas as variáveis de entrada no modelo, efetuou-se uma inspeção preliminar dos primeiros resultados obtidos da rede. Um dos aspetos mais relevantes foi verificar se havia circulação de veículos em todas as vias da rede. Além disso, foi analisada a densidade de tráfego ao longo da calibração de modo a verificar a consistência do modelo ao longo de todo o domínio;
  - **Avaliação quantitativa dos resultados do modelo de tráfego:** após a análise qualitativa, foram comparados os volumes de tráfego estimados, para os pontos
-

definidos neste processo, com os volumes de tráfego observados durante a hora de pico (8-9h). Nos pontos mais críticos, verificou-se a necessidade de ajustar algumas variáveis da rede.

Neste trabalho realizou-se a calibração do modelo usando 18 pontos do domínio de estudo. Estes pontos foram escolhidos aleatoriamente nos quatro principais tipos de vias do domínio (A1, A29, N109 e IC2). Na Figura 20 observa-se a localização desses pontos no domínio de estudo.



**Figura 20** - Localização dos pontos (sensores) definidos na rede de estudo para realização do processo de calibração para a modelação da rede de tráfego para a região Porto-Aveiro.

### 3.2.5.2. Validação

Neste estudo utilizou-se o volume de tráfego e os tempos de viagem como parâmetros de validação.

Para a validação dos volumes de tráfego foi utilizada a análise de regressão linear, o GEH, o RMSE e o %RMSE.

Na regressão linear utilizou-se um gráfico de dispersão para comparar os fluxos de tráfego observados e estimados. A análise recorreu ao uso de uma equação linear e respectivo coeficiente de determinação à semelhança do realizado no processo de calibração.

A estatística GEH é uma medida padrão do ajuste entre o fluxo de tráfego observado e o fluxo modelado. Ao invés de comparar os fluxos usando uma diferença percentual, o GEH coloca mais ênfase sobre os fluxos maiores e os fluxos menores. O GEH pode ser calculado através da seguinte equação (Blewitt 2010):

$$GEH = \sqrt{\frac{(M - C)^2}{\frac{(M + C)}{2}}}$$

Onde:

GEH: Índice de Geoffrey E. Havers;

M: Volume de tráfego modelado (veículo/h);

C: Volume de tráfego observado (veículo/h).

Abaixo encontra-se um conjunto de valores que demonstra a utilização da estatística GEH (Quadro 6), comparada com uma simples diferença de percentagem em relação a diferentes tamanhos de amostras. Segundo a bibliografia analisada, o valor óptimo deverá ser inferior a 5 (Ben-Akiva et al. 2012; Casas et al. 2011; Parsons Brinckerhoff 2012). Porém, como se pode analisar pelo Quadro 6 o erro percentual pode variar significativamente nestes casos. O GEH é proporcional ao volume das vias. Quanto maior for o volume maior é o GEH. O artigo de (Ben-Akiva et al. 2012) demonstra que numa rede de tráfego nem todas as vias têm um GEH inferior a 5. Neste trabalho existem vários links com volumes elevados e que apresentam um GEH entre 5 a 10.

**Quadro 6** - Análise comparativa do GEH.

M (PCU)	C (PCU)	GEH	% Difference
10,000	9,000	10.3	10%
1,000	900	3.2	10%
100	90	1.0	10%
10,000	9,520	4.9	5%
1,000	850	4.9	18%
100	57	4.9	75%

Outro parâmetro utilizado para validar os fluxos de tráfego da rede foi o RSME (*Root Mean Square Error*) e a %RSME. O RSME e o %RSME são medidas de precisão que estabelecem o erro médio entre volumes de tráfego observados e modelados em ligações de tráfego. Segundo a análise bibliográfica, para uma análise de uma rede de tráfego ao nível regional, o %RSME deve ser menor do que 32% para garantir que tenha uma boa precisão. Estas medidas são calculadas através das seguintes fórmulas (TMIP 2010):

$$RSME = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^N [(Count_i - Model_i)^2]}{N}}$$

$$\%RSME = \frac{RSME}{\left(\frac{\sum_{i=1}^N Count_i}{N}\right)} \times 100$$

Onde:

Count<sub>i</sub>: Contagens de tráfego observadas por via de tráfego *i* (veh/h);

Model<sub>i</sub>: Volume de tráfego modelado por via de tráfego *i* (veh/h);

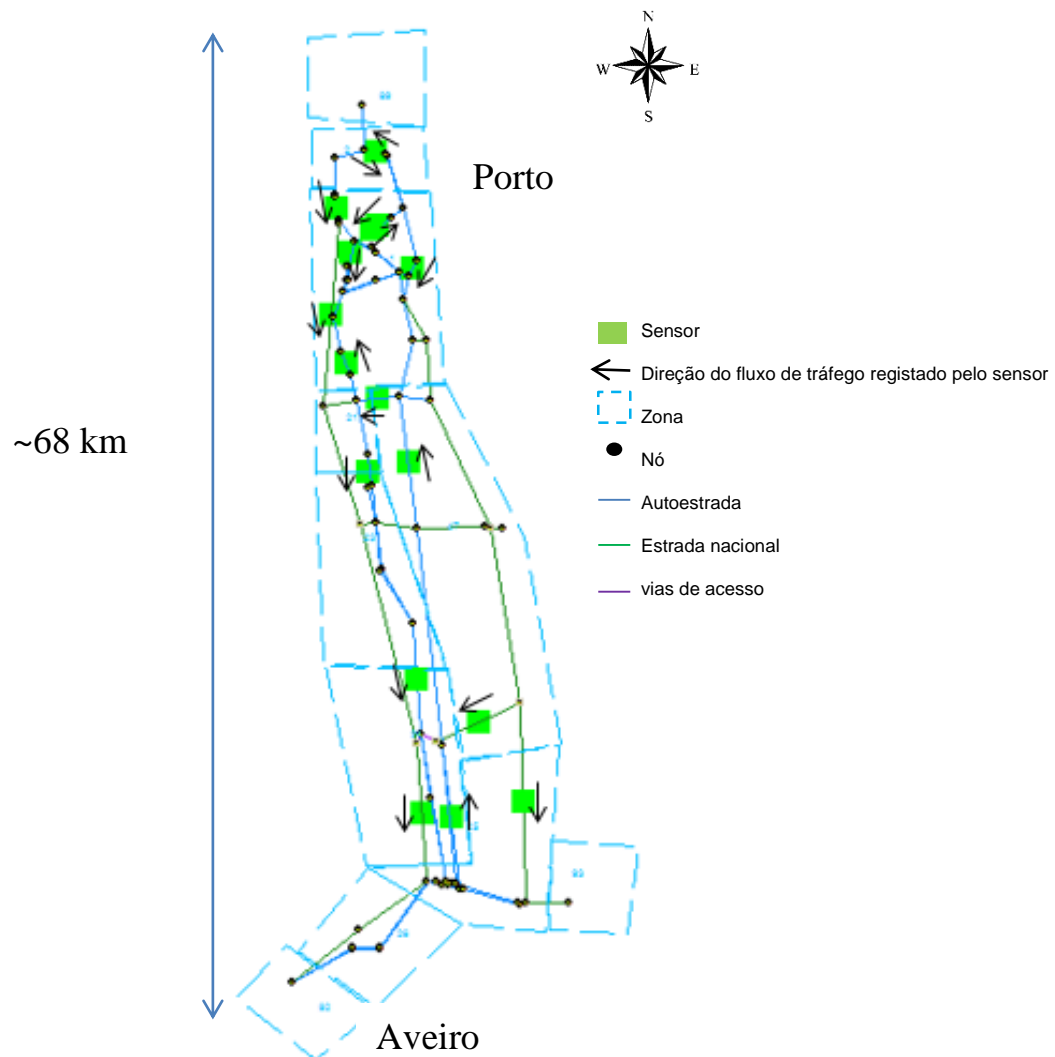
N: Número de via de tráfego em análise (*links*).

Para validar os tempos de viagem selecionaram-se 11 rotas. Estas rotas foram geradas pelo DTALite e encontram-se apresentadas no Anexo 4. De acordo com a rota em análise, consideraram-se entre 7 e 10 viagens observadas. Estes dados de campo, recolhidos no âmbito do projeto SMARTDECISION, foram analisados através do software ArcGIS.

Após a comparação preliminar dos tempos de viagem para as rotas selecionadas, verificou-se uma discrepância em relação aos tempos simulados com os tempos observados. Para corrigir estas diferenças efetuou-se um ajuste da velocidade máxima de circulação das vias,

diminuindo-a em cerca de 5 km/h, de modo a compensar a simplificação inicialmente introduzida na rede.

Para validar a rede usaram-se 18 pontos o mesmo número de pontos na calibração (Figura 21). Estes pontos foram selecionados de modo a garantir que o volume de tráfego e os tempos de viagem fossem consistentes com as outras vias da rede, complementando com os pontos de calibração usados previamente.



**Figura 21** - Localização dos sensores definidos na rede de estudo para realização do processo de validação para modelação da rede de tráfego para a região Porto-Aveiro.

### 3.3. Modelação de emissões

As emissões dependem de vários fatores, entre os quais se destacam o modo de condução (ex: velocidade), a inclinação da estrada, e a tipologia do veículo. Nesta dissertação as variáveis de saída do modelo de tráfego DTALite foram usadas como variáveis de entrada do modelo de emissões. A metodologia usada para estimativa das emissões foi a do CORINAIR - *Core Inventory of Air Emissions* (EMEP/EEA 2012) .

O inventário CORINAIR foi desenvolvido em 1985 com o objetivo de efetuar um inventário coordenado de emissões atmosféricas dos diversos estados membros da União Europeia. Esta metodologia fornece orientações sobre as estimativas das emissões a partir de fontes de emissões, de inventários ou base de dados.

A metodologia de estimativa das emissões abrange emissões de CO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub>, COVNM, CO, PM, N<sub>2</sub>O, amoníaco (NH<sub>3</sub>), CH<sub>4</sub>, dióxido de enxofre (SO<sub>x</sub>), hidrocarbonetos aromáticos políclicos (PAHs), poluentes orgânicos persistentes (POPs), dioxinas, furanos e metais pesados contidos no combustível (chumbo, arsênico, cádmio, cobre, crómio, mercúrio, níquel, selénio e zinco) (EMEP/EEA 2012). Para cada um destes poluentes estão definidas equações que permitem estimar o consumo e as emissões para os vários setores de atividade.

O cálculo das emissões de um dado setor de atividade é dependente do Fator de Emissão (FE) e de Atividade (A) (EEA 2007):

$$\text{Emissão}_p = \text{FE}_p \times \text{Atividade}$$

O fator de emissão traduz a massa de um poluente p emitido por uma atividade, como por exemplo um veículo no caso do setor rodoviário. Para o caso das emissões rodoviárias, a atividade corresponde ao volume do parque automóvel que percorre uma dada secção da via (A = n.º de veículos \* distância percorrida).






De acordo com a metodologia CORINAIR as emissões totais são calculadas com base na soma de emissões a quente (correspondente ao funcionamento estável do motor), das emissões a frio (correspondente a operações de aquecimento do motor) e das emissões evaporativas. No presente trabalho só se consideraram as emissões a quente, dado estar-se a analisar viagens de média e longa distância e portanto considera-se que os veículos circulam já com o motor termicamente estabilizado.

Para o cálculo destas emissões foi utilizada a distribuição estatística do parque automóvel português ao nível da distribuição de veículos por tipo de combustível (gasolina ou gasóleo), distribuição da idade do veículo, distribuição por tipo de cilindrada e/ou peso bruto. O Quadro

---

7 sintetiza toda a informação estatística usada. Esta dissertação analisa cinco categorias de veículos: ligeiros de passageiros, ligeiros de mercadorias, pesados de passageiros, pesados de mercadorias e motociclos.

**Quadro 7** - Parâmetros estatísticos relativos à distribuição do tipo de combustível, idades dos veículos, cilindrada e peso bruto de veículos ligeiros de passageiros, ligeiros de mercadorias, pesados de passageiros, pesados de mercadorias e motociclos (Adaptado de: Coelho et al., (2014))

VARIABLE		VEHICLE CATEGORY					
							
FUEL	GASOLINE	70.4%	0.0%	0.0%	0.0%	100.0%	
	DIESEL	29.6%	100.0%	100.0%	100.0%	0.0%	
AGE CLASS (YEARS)		[0, 1]:5.5%	[0, 1]:3.9%	[0, 1]:4.0%	[0, 1]:7.0%	[0, 1]:9.9%	
		]1, 2]:4.1%	]1, 2]:3.3%	]1, 2]:4.0%	]1, 2]:5.6%	]1, 2]:6.8%	
		]2, 3]:5.7%	]2, 3]:4.7%	]2, 3]:5.4%	]2, 3]:5.8%	]2, 3]:5.3%	
		]3, 4]:5.6%	]3, 4]:5.6%	]3, 4]:4.8%	]3, 4]:5.5%	]3, 4]:5.6%	
		[4, 5]:5.4%	[4, 5]:5.4%	[4, 5]:4.0%	[4, 5]:5.2%	[4, 5]:5.1%	
		]5, 10]:26.8%	]5, 10]:30.6%	]5, 10]:22.2%	]5, 10]:37.1%	]5, 10]:31.5%	
		]10, 15]:27.7%	]10, 15]:29.4%	]10, 15]:21.4%	]10, 15]:22.2%	]10, 15]:6.3%	
		]15, 20]:15.3%	]15, 20]:13.1%	]15, 20]:12.0%	]15, 20]:3.9%	]15, 20]:9.8%	
		]21, 30]:3.9%	]21, 30]:4.0%	]21, 30]:22.2%	]21, 30]:7.7%	]21, 30]:19.7%	
ENGINE SIZE (CC) AND GROSS WEIGHT (T)		[<1.4]: 56.8%	[<1.4]: 36.6%	[<15]:51.1% [>15]:48.9%	[<7.5]: 5.7%	[50, 250]: 50.1%	
		]1.4, 2.0]: 37.0%	]1.4, 2.0]: 55.5%		7.5, 12]: 15.5%	]250, 750]: 29.5%	
		>2.0]: 6.2%	>2.0]: 7.9%		12, 14]: 2.1%	>750]: 20.4%	
					14, 20]: 13.3%		
					20, 26]: 9.0%		
					26, 28]: 54.4%		

O cálculo dos consumos energéticos e emissões de poluentes foi efectuado recorrendo à metodologia CORINAIR implementada numa consola desenvolvida em C# (Coelho et al. 2014). A consola utiliza como parâmetros de entrada a velocidade média de circulação do veículo, o volume de tráfego e o comprimento de cada via da rede proveniente do modelo de tráfego.

Os gases estudados nesta dissertação foram o CO<sub>2</sub>, CO, NO<sub>x</sub>, HC e as PM. Estes gases foram seleccionados por representarem um grande impacto na saúde humana e na poluição ambiental. Além destas emissões será também estudado o consumo energético dos veículos.

### 3.4. Definição de cenários

Para avaliar o impacto das emissões de poluentes e dos consumos registados na rede de tráfego entre o Porto e Aveiro, definiram-se vários cenários para avaliar qual a melhor medida

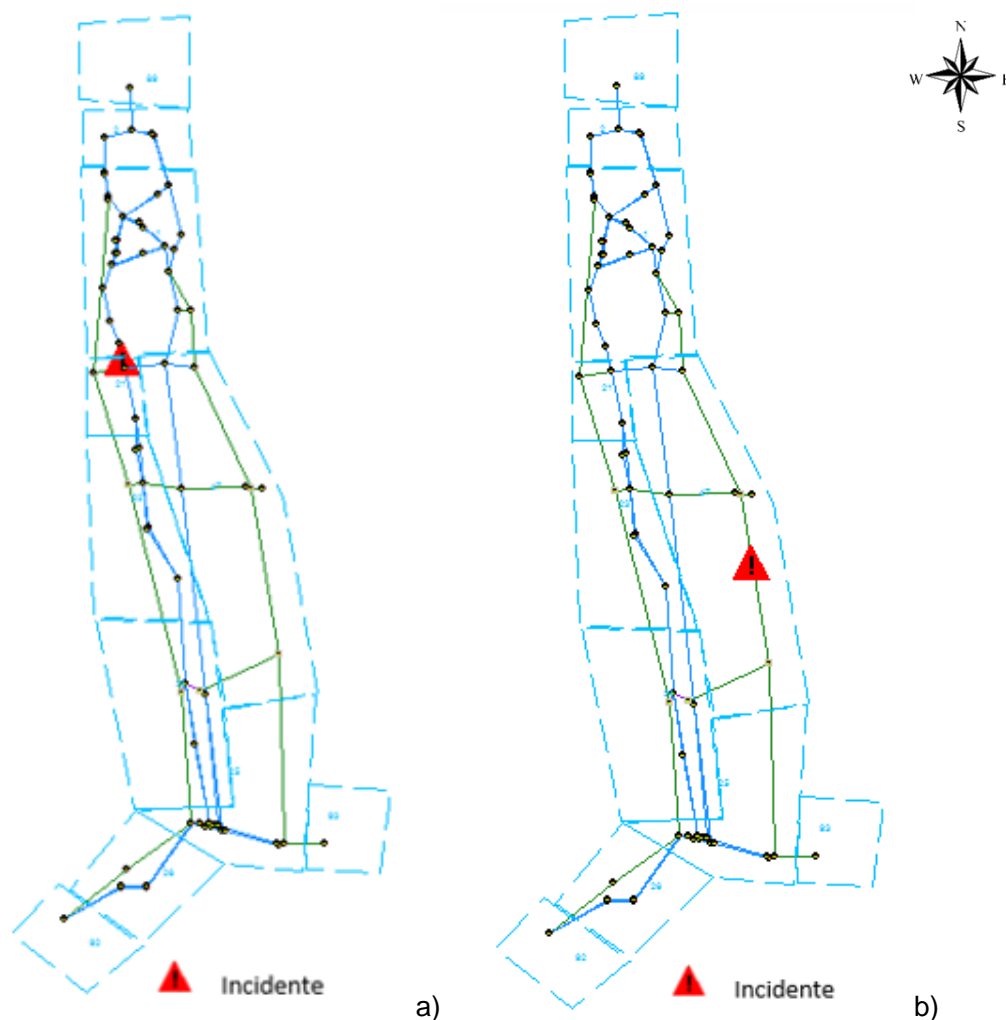


de gestão de tráfego quando ocorre um incidente. Para isso, foi utilizado nestas simulações ITS para avaliar o impacto que as informações recebidas pelos condutores têm na escolha de uma nova rota, quando estão perante incidentes, como por exemplo zonas de trabalho ou ocorrência de acidentes.

Assim, foi simulado a ocorrência de dois casos de estudo: 1) ocorrência de um incidente na rota 2: via A29 (direcção Norte → Sul), localizado na zona de Espinho; e 2) ocorrência de um incidente na rota 3: via EN1 (direcção Sul → Norte), na zona Entre Douro e Vouga.

O incidente da rota 2 foi colocado na A29, na zona de Espinho, dado que este local é considerado um ponto de elevada taxa de sinistralidade rodoviária devido ao elevado número de veículos que aí circulam, bem como às características da própria via: grande número de curvas com um elevado ângulo e vias com grande inclinação. O incidente da rota 3 foi colocado nesse local devido à via estar sujeita nesta zona à ocorrência de vários tipos de incidentes (ex: queda de uma árvore, avaria de veículos, acidentes, manutenção frequente da via, etc.) com grande impacto ao nível do congestionamento devido ao facto de apenas existir uma via em cada sentido.

O incidente tem uma duração de uma hora (8 às 9h), e durante este período o tráfego é reduzido em 80%, permitindo a circulação dos restantes veículos com uma velocidade de 14 mph (22,4 km/h) e 7 mph (11,2 km/h) respectivamente para o incidente da rota 2 e 3. O objetivo destes casos de estudos é avaliar o impacto dos diferentes níveis de informação adquiridos pelos condutores face ao aparecimento de incidentes nas vias, e avaliar as suas consequências em relação ao consumo energético e as emissões emitidas. A Figura 22 ilustra a localização dos incidentes em estudo.



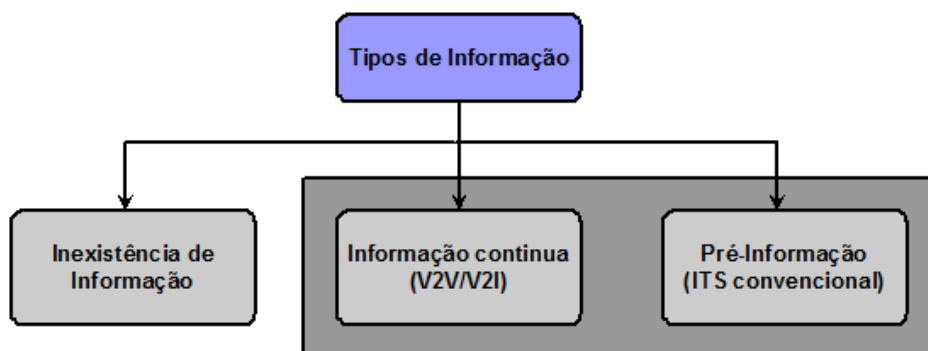
**Figura 22** – Localização da ocorrência do incidente na: a) A29; e b) EN1.

Os cenários foram definidos com base em três tipos de informação: (i) realização dos percursos com ausência de informação; (ii) realização dos percursos usando ITS convencionais; e (iii) realização dos percursos com utilização de V2V e V2I (Figura 23):

- **Ausência de informação (cenário base):** simula os veículos com as trajetórias geradas consoante as origens/destinos definidos na matriz O/D em condições normais de tráfego. Este tipo de percurso não fornece aos condutores informação de trânsito, nem considera a utilização de qualquer tipo tecnologia de informação. Nesta situação os condutores utilizam sempre o caminho mais curto.
- **Utilização de sistemas de informação de tráfego convencionais:** os condutores têm acesso à informação disponibilizada pelos sistemas de informação de tráfego quando ocorre algum incidente na rede. Este cenário considera o uso de sistemas de informação de tráfego mais convencionais, como a utilização de internet, rádio e televisão. Assim, a disponibilização de uma pré-informação acerca da existência de

um incidente permite aos condutores optar por procurar rotas alternativas. Neste tipo de situações o condutor quando inicia uma rota tem que obrigatoriamente terminar a rota, mesmo encontrando qualquer tipo de incidente no meio do percurso;

- **Utilização de V2V/V2I:** os condutores recebem informações e podem alterar a rota quando quiserem. Os condutores quando sujeitos a uma informação total vindo do V2V/V2I, podem alterar sempre a sua rota, enquanto o condutor que utiliza o sistema de informação de tráfego convencional como fonte de informação, depois de ter escolhido o melhor trajeto, já não pode voltar a alterar essa rota. Enquanto no grupo de cenários anterior o condutor só sabe da ocorrência do incidente algum tempo depois, neste caso, o condutor que utiliza o V2V/V2I tem acesso à informação mais rapidamente. Os veículos em situações de congestionamento podem receber informação em qualquer lugar e a qualquer hora através de outros veículos (no caso do V2V) ou através de infraestruturas (no caso de V2I). Assim, os condutores têm acesso à informação de forma contínua e não apenas exclusivamente uma pré-informação.



**Figura 23** – Tipos de informação disponível aos condutores.

No Quadro 8 são apresentados os 7 cenários que irão ser estudados na presente dissertação:

- **Cenários 1 – percurso normal:** Está representado a amarelo e é o cenário base. Neste cenário o condutor não tem acesso a qualquer tipo de informação quando perante interrupções nas vias das suas rotas;
- **Cenários 2, 3 e 4 – V2V/V2I vs. Percurso normal:** é combinado o V2V/V2I, situações em que os condutores têm acesso a uma informação total com os cenários de percurso normal em que os condutores seguem os seus percursos habituais. Assim, no cenário 5, 25% dos condutores utilizam a informação adquirida através do V2V/V2I e 75% seguem os seus percursos normais. No cenário 6, 50% dos

condutores utilizam a informação do V2V/V2I mas 50% não a utiliza e seguem os seus percursos normais, enquanto no cenário 7, 75% dos condutores utilizam informação do V2V/V2I e 25% dos condutores seguem os seus percursos normais.

- **Cenários 5, 6 e 7 – sistemas de informação de tráfego vs. Percurso normal:** são combinados situações em que os condutores têm acesso a uma pré-informação (através do sistema de informação de tráfego convencional) e que utilizam essa informação e os condutores que seguem o seu percurso normal. Para cada um destes grupos, dividiu-se o número de condutores em percentagens: 25%, 50% e 75%. Assim, o cenário 2 indica que 25% dos condutores utilizam a pré-informação adquirida pelo ITS e 75% dos condutores vão continuar a seguir os seus percursos normais. No cenário 3, 50% dos condutores utilizam a pré-informação e os restantes 50% seguem os seus percursos habituais, enquanto no cenário 4, 75% dos condutores utilizam a pré-informação vinda dos sistemas de informação de tráfego e os restantes não;

**Quadro 8** - Definição dos cenários.

Cenário	Descrição	
1	Cenário base	Sem informação
2	<b>V2V/V2I Vs. Percurso normal</b>	25% V2V e V2I; 75% percurso normal
3		50% V2V e V2I; 50% percurso normal
4		75% V2V e V2I; 25% percurso normal
5	<b>Sistemas de informação de tráfego (pré-informação) Vs. Percurso Normal</b>	25% com auxílio de sistemas de informação de tráfego (pré-informação); 75% de percurso normal
6		50% com auxílio de sistemas de informação de tráfego (pré-informação); 50% de percurso normal
7		75% com auxílio de sistemas de informação de tráfego (pré-informação); 25% de percurso normal

Com vista a avaliar os cenários em análise, definiu-se um conjunto de parâmetros característicos. Assim os critérios utilizados são:

- Consumo de combustível (l);
- Emissões totais de CO<sub>2</sub> na rota (g);
- Emissões totais de HC na rota (g);
- Emissões totais de NO<sub>x</sub> na rota (g);
- Emissões totais de CO na rota (g);
- Emissões totais de PM na rota (g).

Por fim, atribui-se uma classificação aos melhores e aos piores cenários para cada caso de estudo. O melhor cenário terá a classificação de 1 ponto e o pior de -1. Para avaliar qual é o melhor cenário, no final soma-se os pontos de cada cenário e avalia-se qual foi o melhor para cada caso em estudo.



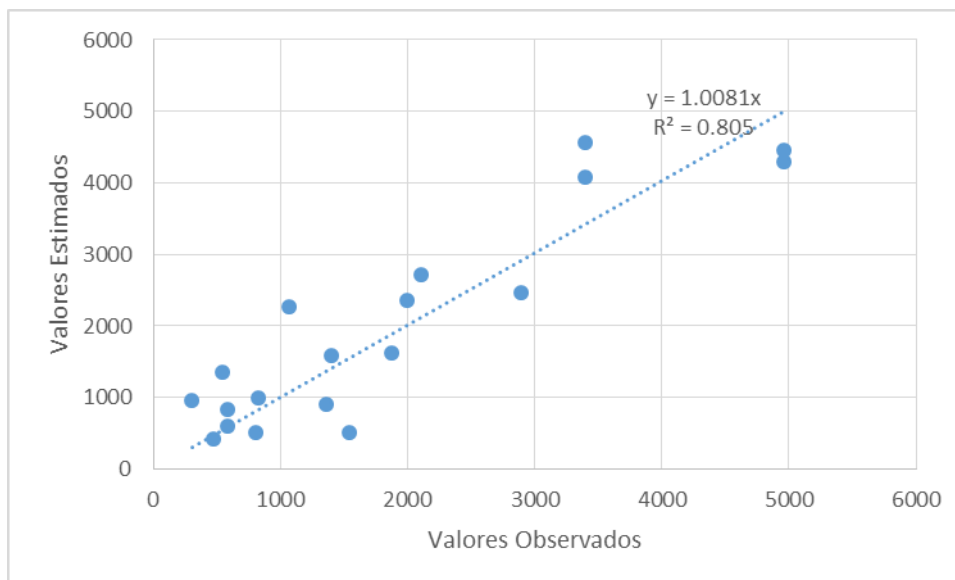
## 4. Apresentação e discussão de resultados

Este capítulo tem como objetivo comparar os diferentes cenários e avaliar o desempenho da rede de estudo. Para cada rota são apresentados e discutidos os resultados obtidos para cada caso em estudo.

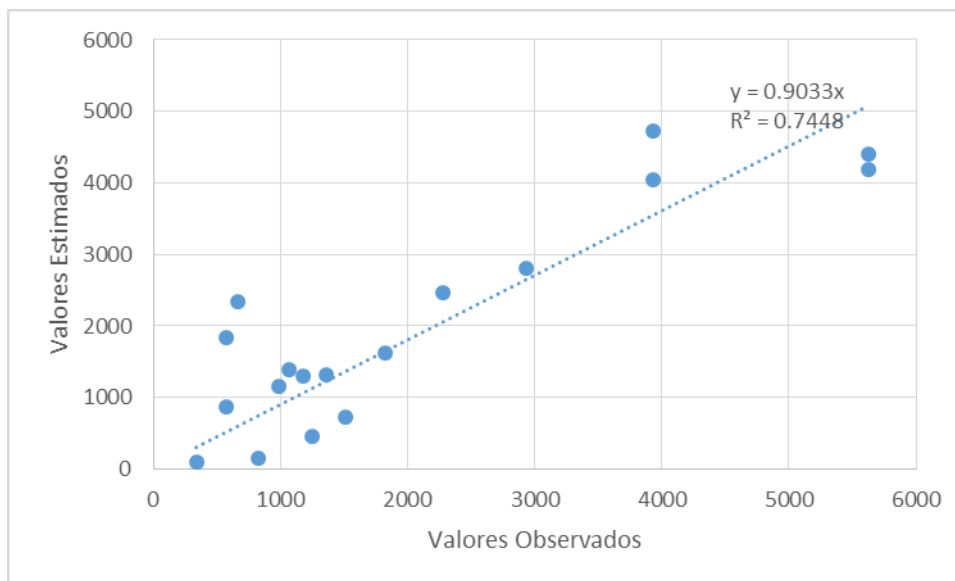
### 4.1. Avaliação do cenário de referência

Para avaliação do modelo de tráfego (cenário sem incidentes), verificou-se que 10 simulações por cenário garantem resultados estatisticamente fiáveis, isto é, conseguem capturar a aleatoriedade observada no terreno.

No que respeita aos volumes de tráfego, a análise da calibração indica que foi possível obter um valor aceitável de  $r^2=81\%$  (Figura 24). Os resultados da validação apresentam um valor ligeiramente mais baixo em relação ao da calibração, cerca de  $r^2=75\%$  (Figura 25). Em ambos os casos verifica-se uma tendência para um ajuste linear da reta com  $x=y$ . Face à dimensão do domínio e à inexistência de uma matriz O/D coesa entre a região Porto e Aveiro, consideraram-se estes resultados aceitáveis.



**Figura 24** – Recta de regressão linear entre os volumes de tráfego estimados vs volumes de tráfego observados no processo de calibração do modelo de tráfego.



**Figura 25** – Recta de regressão linear entre os volumes de tráfego estimados vs volumes de tráfego observados no processo de validação do modelo de tráfego.

Os resultados do GEH são apresentados no Quadro 9. A vermelho estão assinalados os pontos com os maiores desvios. Quatro dos pontos analisados (aproximadamente 22%) têm um desvio elevado entre o volume de tráfego estimado e o observado. Para os restantes pontos podemos considerar que os volumes estimados são muito próximos dos observados. As diferenças percentuais nestes pontos são inferiores a 20%. Quanto menor forem os valores do GEH melhor é a comparação entre o fluxo estimado e observado. O valor ótimo do GEH é aproximadamente 10 para este tamanho amostral. Este valor foi obtido para 55,5% dos pontos em análise, e 22,2% dos pontos apresentam valores de GEH entre 10 e 15. Contudo, a análise do quadro 9 indica que nestes pontos em que  $GEH < 10$  se obtém um erro percentual bastante grande (1-44%), contudo, noutros casos com GEH superior, a diferença é menor devido ao tamanho amostral do volume em cada ligação. Por exemplo o sensor 9 tem um GEH de 6 e uma diferença de 22%, enquanto o sensor 9 tem um GEH de 11,3 mas tem uma diferença menor, cerca de 20%, isto é devido ao facto do sensor 9 apresentar volumes de tráfego maiores. Podemos assim afirmar que o GEH é proporcional ao tamanho da amostra.



**Quadro 9** Resultados da validação dos fluxos de tráfego simulados.

Sensor	ligação	Estimado	Observado	GEH	Diferença %
1	1->8	843	586	9,6	44
2	2->3	4300	4962	9,7	13
3	5->6	4086	3397	11,3	20
4	8->18	593	586	0,3	1
5	8->85	2459	2892	8,4	15
6	9->10	4563	3397	18,5	34
7	12->13	4460	4962	7,3	10
8	14->15	2717	2106	12,4	29
9	19->21	1002	822	6,0	22
10	24->25	2269	1067	29,4	113
11	33->45	908	1365	13,6	33
12	47->36	2353	2000	7,6	18
13	47->49	507	808	11,7	37
14	50->78	513	1543	32,1	67
15	51->42	1354	542	26,4	150
16	67->68	1595	1398	5,1	14
17	72->73	1629	1873	5,8	13
18	78->66	419	470	2,4	11

O RMSE registado foi de 32%. Destaca-se que existe uma diferença de volumes entre todos os sensores, uns maiores e outros menores, isto é devido ao facto de existir a limitação na matriz OD, anteriormente explicada no capítulo 3.2.4.

Os resultados obtidos para a validação dos tempos de viagem são apresentados na Figura 26. Os tempos de viagem estimados nas rotas definidas são em geral semelhantes aos tempos observados, encontrando-se dentro dos limites de confiança definidos através dos desvios padrões calculados. Apenas as rotas quatro e oito apresentam um desvio um pouco maior. Assim, considera-se que os resultados obtidos para este parâmetro são bons.

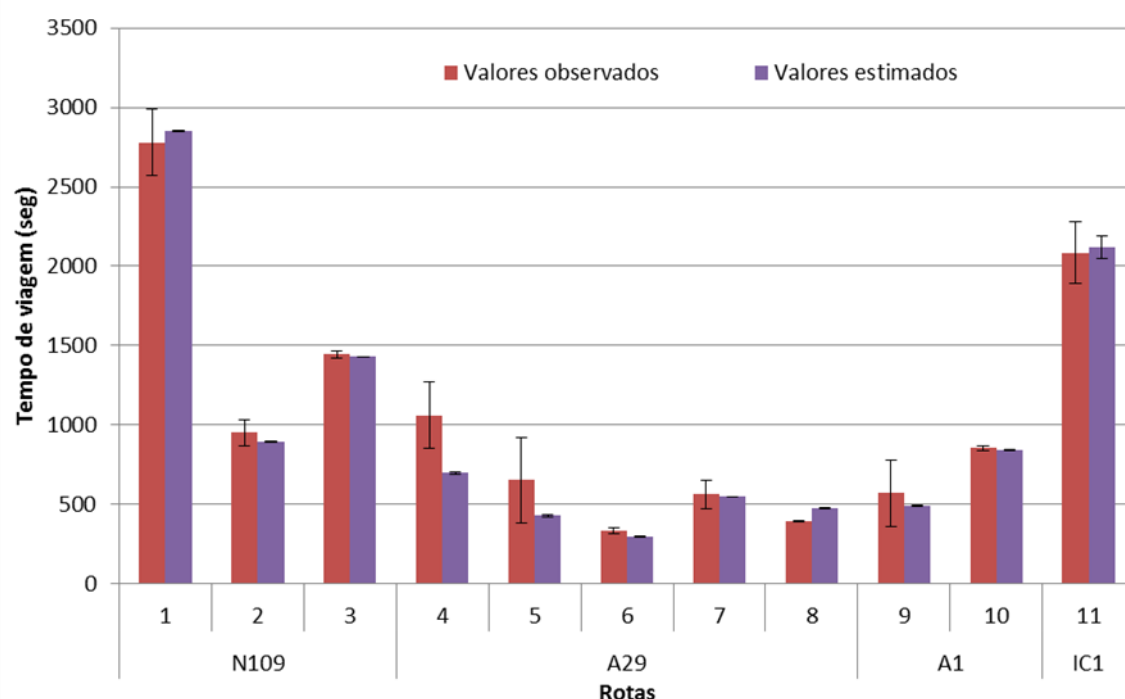


Figura 26 – Resultados de avaliação dos tempos de viagem simulados.

## 4.2. Avaliação dos cenários de gestão de tráfego

No Quadro 10 apresenta-se a comparação entre os valores das emissões e dos consumos de energia para as quatro rotas em análise quando está presente ou ausente a ocorrência de um incidente na A29 e na EN1. No caso do incidente ocorrido na A29, a análise dos resultados indica que é visível que em geral as emissões e o consumo energético são maiores na A29 e na N109. Isto indica que estas rotas são as mais prejudicadas face à ocorrência do incidente. Ao contrário, as emissões na EN1 e A1 são menores quando existe um incidente quando não existe informação na rede.

Analisando as rotas quando ocorre o incidente na EN1, é visível que em geral as emissões e o consumo energético são maiores na EN1, A29 e N109. Na A1 houve um ligeiro decréscimo das emissões e do consumo de combustível. Isto indica que face ao incidente os condutores optam pouco pela A1 como rota alternativa, quando não existe informação na rede.

O aumento dos consumos e das emissões nestas rotas são justificadas pelo aumento do congestionamento neste local. Isto indica que quando não existe informação na rede os condutores têm dificuldade em mudar a sua rota devido ao desconhecimento da ocorrência do incidente.

**Quadro 10** – Comparação das emissões totais (NOx, HC, CO, PM e CO<sub>2</sub>) e consumo (FC) nas quatro rotas (A1, A29, EN1 e N109) na direcção N→S, com acidente e sem acidente.

	SITUAÇÃO	ROTA	PARÂMETROS DE AVALIAÇÃO					
			NOx (g)	HC(g)	CO(g)	PM(g)	CO <sub>2</sub> (g)	FC(l)
Incidente na rota 2: A29	SEM INCIDENTE	N109	79342	14274	115864	2551	20460747	51720
	COM INCIDENTE		79459 (100,15%)	14304 (100,21%)	116187 (100,28%)	2555 (100,16%)	20511625 (100,25%)	51845 (100,24%)
	SEM INCIDENTE	A29	158643	33965	364175	5773	73246946	18011
	COM INCIDENTE		159759 (100,70%)	34299 (100,98%)	366719 (100,70%)	5806 (100,57%)	73449910 (100,28%)	18063 (100,29%)
	SEM INCIDENTE	A1	121152	25943	277671	4404	55094076	13550
	COM INCIDENTE		120273 (99,27%)	25755 (99,28%)	275657 (99,27%)	4372 (99,27%)	54693120 (99,27%)	13451 (99,27%)
	SEM INCIDENTE	EN1	154580	30919	310787	5368	60425265	14953
	COM INCIDENTE		154039 (99,65%)	30806 (99,63%)	309609 (99,62%)	5349 (99,65%)	60199184 (99,63%)	14897 (99,63%)
	SEM INCIDENTE	N109	64099	11949	100272	2077	17425102	4388
	COM INCIDENTE		64118 (100,03%)	11953 (100,03%)	100310 (100,04%)	2077 (100,00%)	17431443 (100,04%)	4389 (100,02%)
Incidente na rota 3: EN1	SEM INCIDENTE	A29	145920	31303	335004	5306	66648131	16391
	COM INCIDENTE		145959 (100,03%)	31312 (100,03%)	335094 (100,03%)	5307 (100,02%)	66669604 (100,03%)	16396 (100,03%)
	SEM INCIDENTE	A1	130274	27848	298796	4744	59526143	14638
	COM INCIDENTE		130263 (99,99%)	27846 (99,99%)	298771 (99,99%)	4743 (99,98%)	59520951 (99,99%)	14637 (99,99%)
	SEM INCIDENTE	EN1	183319	37183	377929	6439	74138140	18323
	COM INCIDENTE		188192 (102,66%)	38589 (103,78%)	387204 (102,45%)	6644 (103,18%)	75376308 (101,67%)	18638 (101,72%)

NOTA: Os valores percentuais são face à situação sem incidente.

No que diz respeito à análise dos resultados dos consumos e emissões, estes encontram-se apresentados no Anexo 5 individualmente para as quatro rotas em análise, para o incidente da A29. No Anexo 6 encontram-se os resultados dos consumos e emissões, individualmente para as quatro rotas em análise, para o incidente da EN1.

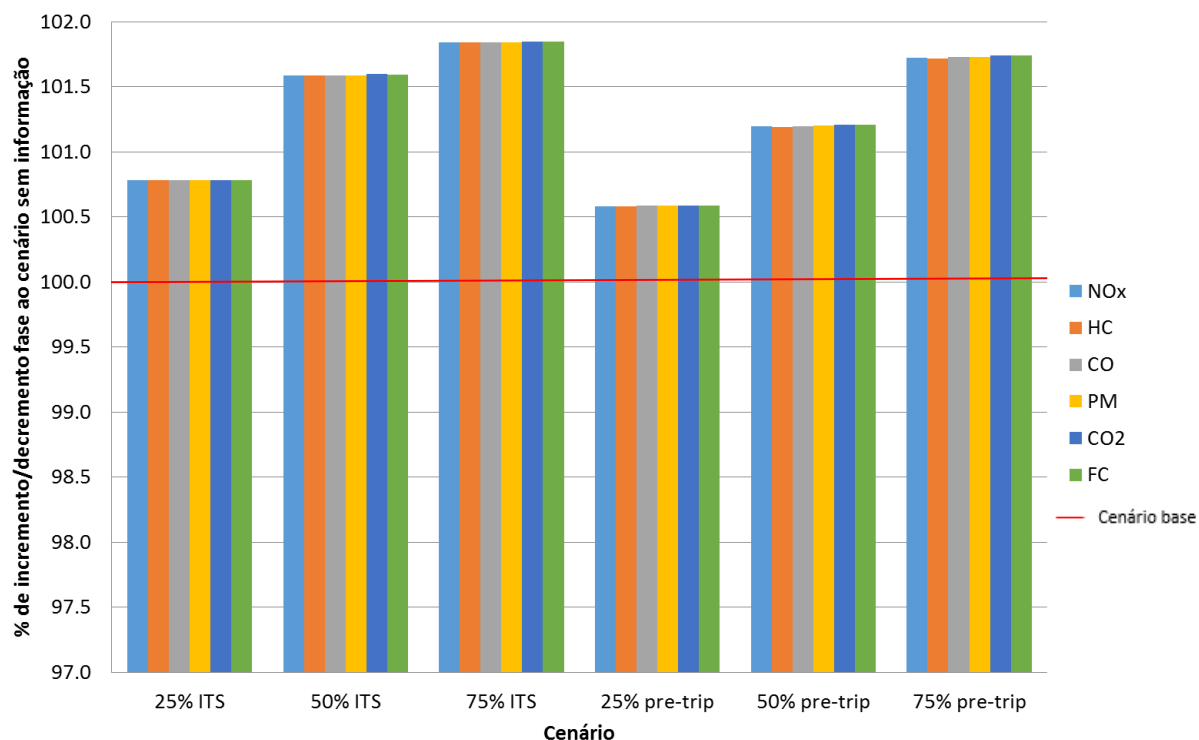
#### 4.2.1. Incidente na Rota: A29

A Figura 27 apresenta as emissões de poluentes (NO<sub>x</sub>, HC, CO, PM e CO<sub>2</sub>) e o consumo de energia estimado para a rota 1: via A1, por cenário, para o período das 8 às 9h quando ocorre um incidente na A29. A análise dos resultados indica que é visível no troço que é realizado em autoestrada (Norte → Sul), que o cenário que apresenta um maior incremento em relação ao cenário base (sem informação) é o cenário 4 (75%ITS). É de notar que quando 75% dos condutores têm acesso a informação vindo do V2V/V2I, estes preferem escolher a rota 1. Quando existe uma menor taxa de informação do V2V/V2I é quando os condutores utilizam menos a A1 como alternativa à via onde decorre o incidente (A29).

Avaliando os cenários na rota 1, pode-se observar alguns fatores diferenciadores:

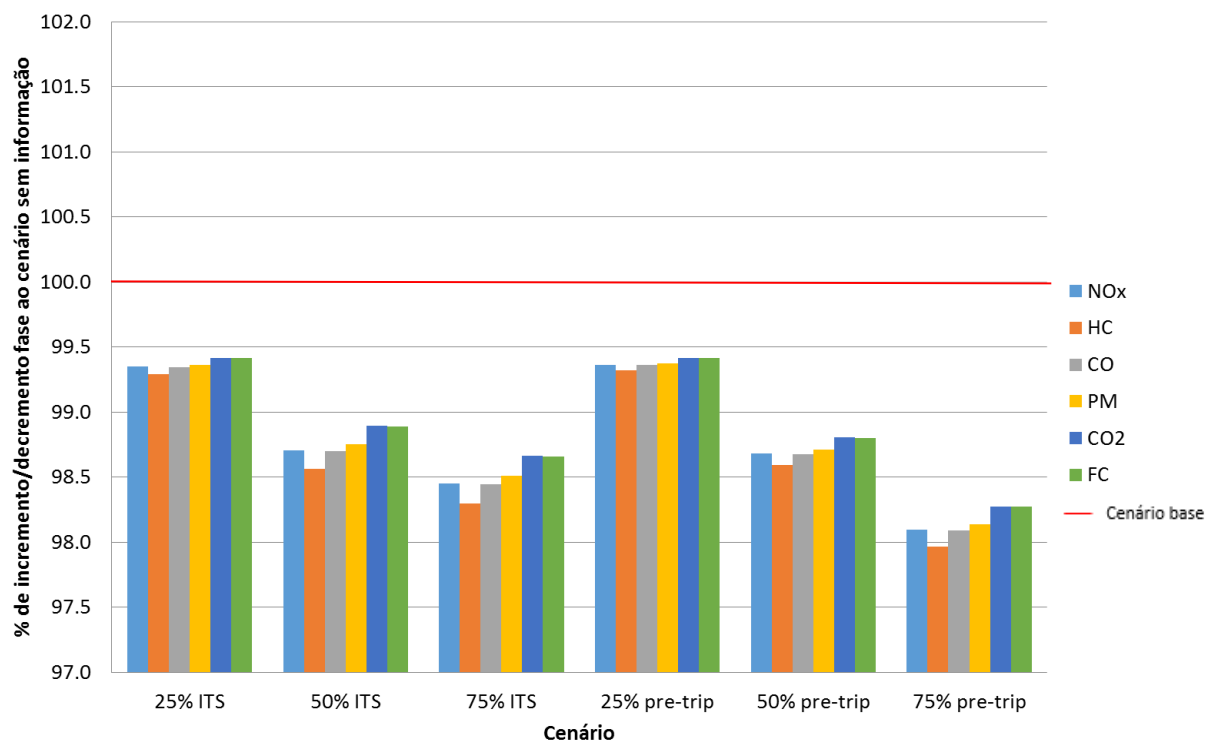
- ✓ Quando 25% dos condutores recebem informação relativamente ao incidente, é quando existe o menor acréscimo das emissões de todos os poluentes (NO<sub>x</sub>, HC, CO, PM, CO<sub>2</sub>), isto significa que por existir pouca informação vinda do ATIS, só existe uma parte que consegue alternar a sua rota;
- ✓ Conforme aumenta a percentagem de informação recebida pelos condutores através dos ITS convencionais e do V2V/V2I, aumenta as emissões e o consumo de energia (<1,5%). Este aumento indica que os condutores, com o aumento de informação do ATIS utilizam mais a A1 como rota alternativa, uma vez que esta rota dispõe de boas condições de circulação e é uma via rápida equivalente à rota onde ocorreu o incidente (A29).

O melhor cenário em relação a eficácia dos graus de informação é o cenário 4 (75% ITS), para a rota da A1. Efectivamente nesta rota os veículos poluem mais e têm um consumo maior, cerca de +0.5 a +1,2% em relação ao cenário base.



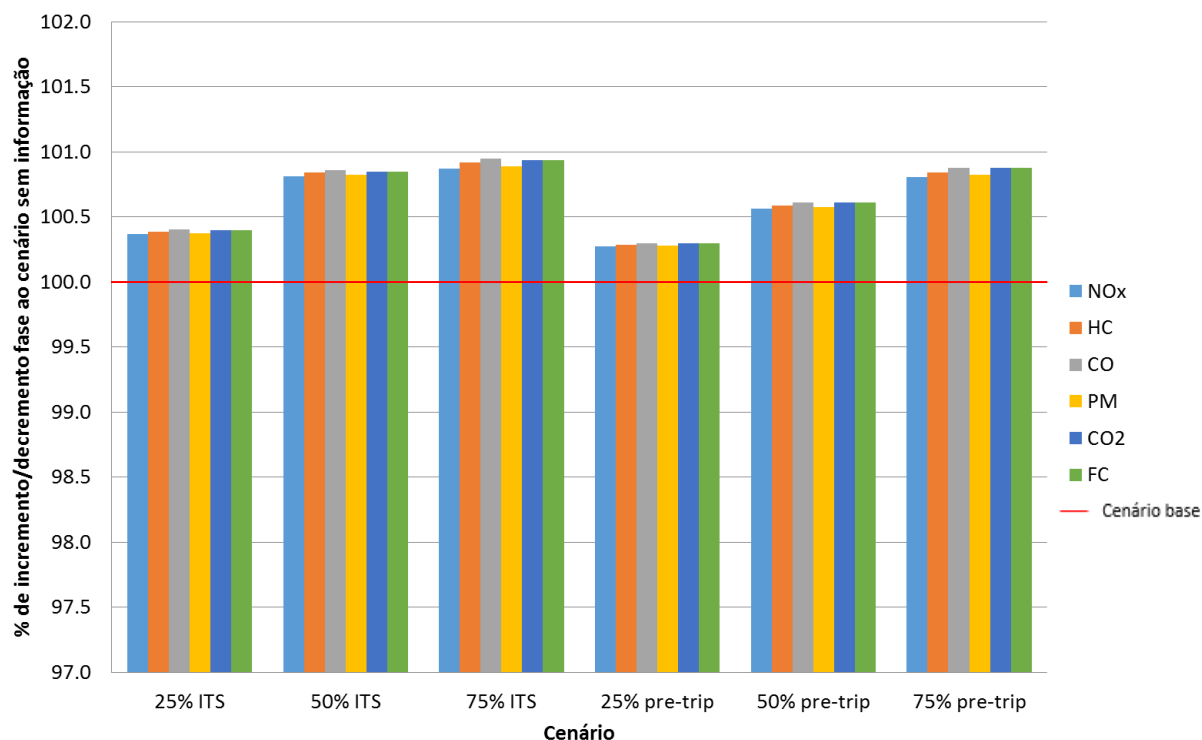
**Figura 27** – Emissões de poluentes (NO<sub>x</sub>, HC, CO, PM e CO<sub>2</sub>) e consumo de energia estimados para a rota 1: via A1, por cenário, para o período das 8 às 9h quando ocorre um incidente na A29.

A Figura 28 apresenta as emissões de poluentes (NO<sub>x</sub>, HC, CO, PM e CO<sub>2</sub>) e consumo de energia estimados para a rota 2: via A29, por cenário, para o período das 8 às 9h quando ocorre um incidente na A29. Analisando os cenários para esta rota onde ocorreu o incidente é possível verificar que os piores cenários são o cenário 2 e 5 (25% ITS/pré-informação), porém mesmo nestes casos, obteve-se reduções de emissões de cerca de 0.5 a 1.0%. O gráfico indica que em geral os resultados foram bons, mas que o cenário 2 (25% ITS) e o cenário 5 (25% pre-trip) foram os menos eficientes. Ao contrário do cenário 4 (75% ITS) e do cenário 7 (75% pre-trip). Nestes cenários os condutores evitam a A29, minimizando as emissões e os consumos de combustíveis. Quanto maior for a taxa de informação recebida pelos condutores na rede, quer através do V2V/V2I ou dos ITS convencionais, maior a sua divergência face ao impacto do incidente, reduzindo assim a emissão de poluentes e o consumo de combustível na rota. Verifica-se um decréscimo nesta rota em relação ao cenário base. Existe uma diferença que atinge os 1,2%.



**Figura 28** – Emissões de poluentes (NO<sub>x</sub>, HC, CO, PM e CO<sub>2</sub>) e consumo de energia estimados para a rota 2: via A29, por cenário, para o período das 8 às 9h quando ocorre um incidente na A29.

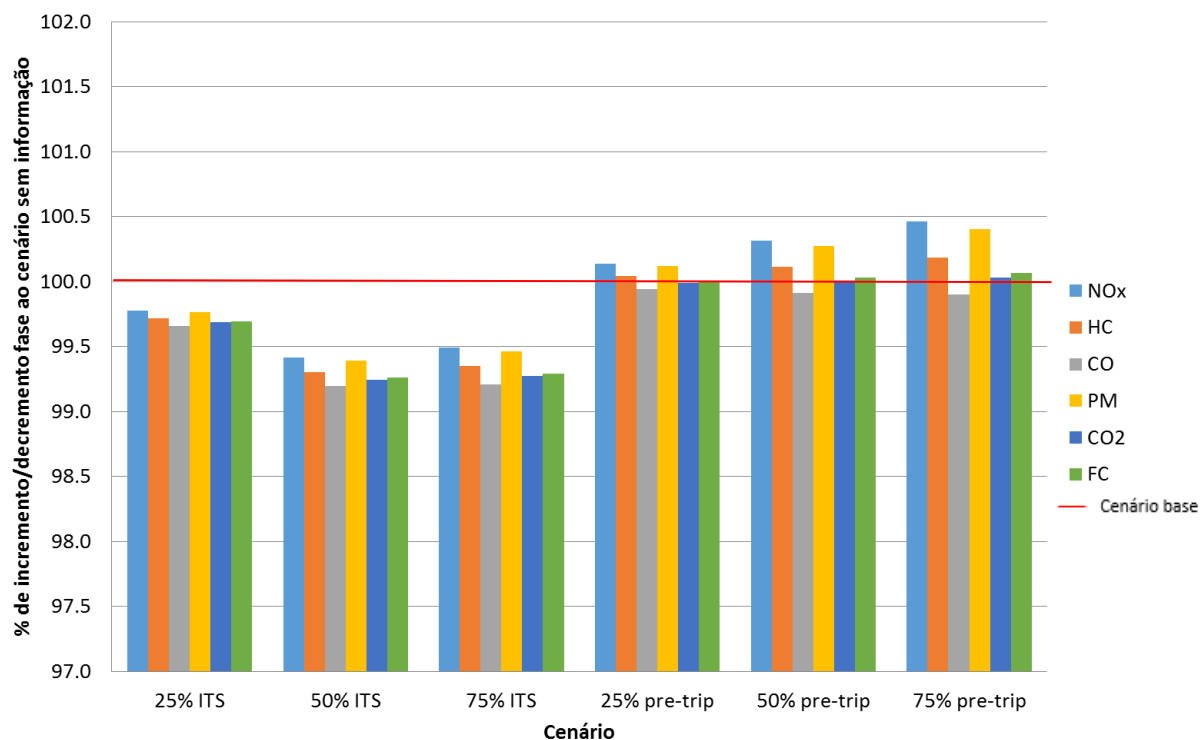
A Figura 29 apresenta as emissões de poluentes (NO<sub>x</sub>, HC, CO, PM e CO<sub>2</sub>) e consumo de energia estimados para a rota 3: via IC1, por cenário, para o período das 8 às 9h quando ocorre um incidente na A29. Para esta rota, é visível que quanto maior é a informação na rede, os condutores têm tendência a escolher a EN1 como via alternativa. Analisando o gráfico podemos afirmar que quando existe um acréscimo de informação, os condutores também têm tendência a escolher este tipo de estrada. A EN1 torna-se uma boa solução à A29 face à ausência de portagens e por esta constituir troços com limites de velocidades um pouco superiores à N109, que também é uma rota com ausência de portagens. Assim, os consumos energéticos e as emissões nesta rota tendem a aumentar com o aumento de informação fornecida aos condutores na rede, em cerca de 0,5 a 1%. Podemos observar que quando os condutores têm pouca informação vinda dos V2V/V2I e dos ITS convencionais, a rota 3 (EN1) é das menos influentes nas escolhas por parte dos condutores. Globalmente, verifica-se um acréscimo nas emissões e no consumo nesta rota em relação ao cenário base, de cerca de 0,65%.



**Figura 29** – Emissões de poluentes (NO<sub>x</sub>, HC, CO, PM e CO<sub>2</sub>) e consumo de energia estimados para a rota 3: via EN1, por cenário, para o período das 8 às 9h quando ocorre um incidente na A29.

A Figura 30 apresenta as emissões de poluentes (NO<sub>x</sub>, HC, CO, PM e CO<sub>2</sub>) e consumo de energia estimados para a rota 4: via N109, por cenário, para o período das 8 às 9h quando ocorre um incidente na A29. Para esta rota, os cenários mais benéficos em termos de emissões são os cenários 3 (50% ITS) e o cenário 4 (75% ITS). Quando existe demasia de informação na rede vindo dos V2V os condutores não optam muito por esta rota alternativa. Quando os condutores têm uma pré-informação do incidente ocorrido na A29 antes de iniciarem a sua rota (cenários 5, 6 e 7), muitos condutores escolhem a estrada N109. O custo das portagens pode ser um dos motivos pela preferência, mas não é muito benéfico em termos de emissão de poluentes. É possível conferir que o aumento de informação vinda dos ITS convencionais não cria muito impacto na escolha dos condutores, verificando assim níveis de emissões e de consumos praticamente constantes. Como a estrada N109 é uma via de tráfego suburbana e portanto atravessando muitas povoações, em termos ambientais, os níveis de emissões aí emitidos podem ter efeitos nefastos na saúde das populações aí residentes, diminuindo assim a qualidade de vida destas regiões. Assim, pode concluir-se que os cenários 5, 6 e 7 são os piores cenários se considerarmos este ponto de análise. Outro dos motivos é que quando os condutores têm acesso à informação antes da viagem, conseguem planear e analisar antecipadamente as alternativas evitando o congestionamento. Contrariamente ao que se verifica com os cenários 2 e 4, os condutores recebem informação instantânea e tentam arranjar soluções imediatas para evitar o incidente. Um dos fatores mais

relevantes, que leva os condutores a escolherem uma solução rápida, é o tempo. Como o acidente ocorre durante a hora de pico das 8 às 9h, existe muita gente a circular nas vias de tráfego em movimentos pendulares, daí o cenário 3 e 4 providenciar uma preferencia em relação à A1. Assim, como foi referido anteriormente, esta rota não é normalmente escolhida pelos condutores como rota alternativa. Apresenta uma diferença média de - 0,22% nas emissões e no consumo em relação ao cenário base.



**Figura 30** – Emissões de poluentes (NO<sub>x</sub>, HC, CO, PM e CO<sub>2</sub>) e consumo de energia estimados para a rota 4: via N109, por cenário, para o período das 8 às 9h quando ocorre um incidente na A29.

No Quadro 11 pode-se observar-se o balanço dos resultados finais relativos aos melhores/piores cenários para cada rota. É visível que em termos de emissões, todas as vias, excepto a rota 2: A29 (rota onde ocorre o incidente) têm como melhores cenários os cenários em que existe pouca informação na rede. À excepção da rota 2: A29, os piores cenários ocorrem quando existe excesso de informação na rede. Quando há informação vindo dos ITS, os condutores ao escolherem a sua nova rota vão aumentar o volume de tráfego nessa nova rota. As consequências do aumento do volume de tráfego vai ser o aumento de emissões, consumos e congestionamentos, nas rotas alternativas.



**Quadro 11** – Classificação dos cenários: incidente na A29.

Rota	Cenários	CO <sub>2</sub>	NO <sub>x</sub>	HC	CO	PM	Consumo	Total
Rota 1: via A1	1	+1	+1	+1	+1	+1	+1	+6
	2							
	3							
	4	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-6
	5							
	6							
	7							
Rota 2: via A29	1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-6
	2							
	3							
	4							
	5							
	6							
	7	+1	+1	+1	+1	+1	+1	+6
Rota 3: via EN1	1	+1	+1	+1	+1	+1	+1	+6
	2							
	3							
	4	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-6
	5							
	6							
	7							
Rota 4: N109	1							
	2							
	3	+1	+1	+1	+1	+1	+1	+6
	4							
	5							
	6							
	7	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-6

Legenda: +1: melhor cenário; -1: pior cenário.

Analisando as classificações finais das rotas (quadro 12), em função dos consumo e das emissões, foi possível conferir que:

- ✓ Os condutores quando têm 75% de informação vinda do V2V/V2I, escolhem a A1 e a EN1 como rotas alternativas;
- ✓ Quando 75% dos condutores recebem informação sobre o acidente ocorrido na A29, antes de iniciarem a sua viagem, não utilizam a rota da A29. Ao contrário do cenário 1, quando não existe informação sobre o incidente, muitos condutores utilizam a rota da A29. A rota fica congestionada, e conseqüentemente o nível de emissões e o consumo aumentam.

**Quadro 12** – Resultados da classificação dos cenários por rota (A1, A29, EN1 e N109).

	MELHOR CENÁRIO	PIOR CENÁRIO
<b>ROTA 1: A1</b>	Cenário 1	Cenário 4
<b>ROTA 2: A29</b>	Cenário 7	Cenário 1
<b>ROTA 3: EN1</b>	Cenário 1	Cenário 4
<b>ROTA 4: N109</b>	Cenário 3	Cenário 7

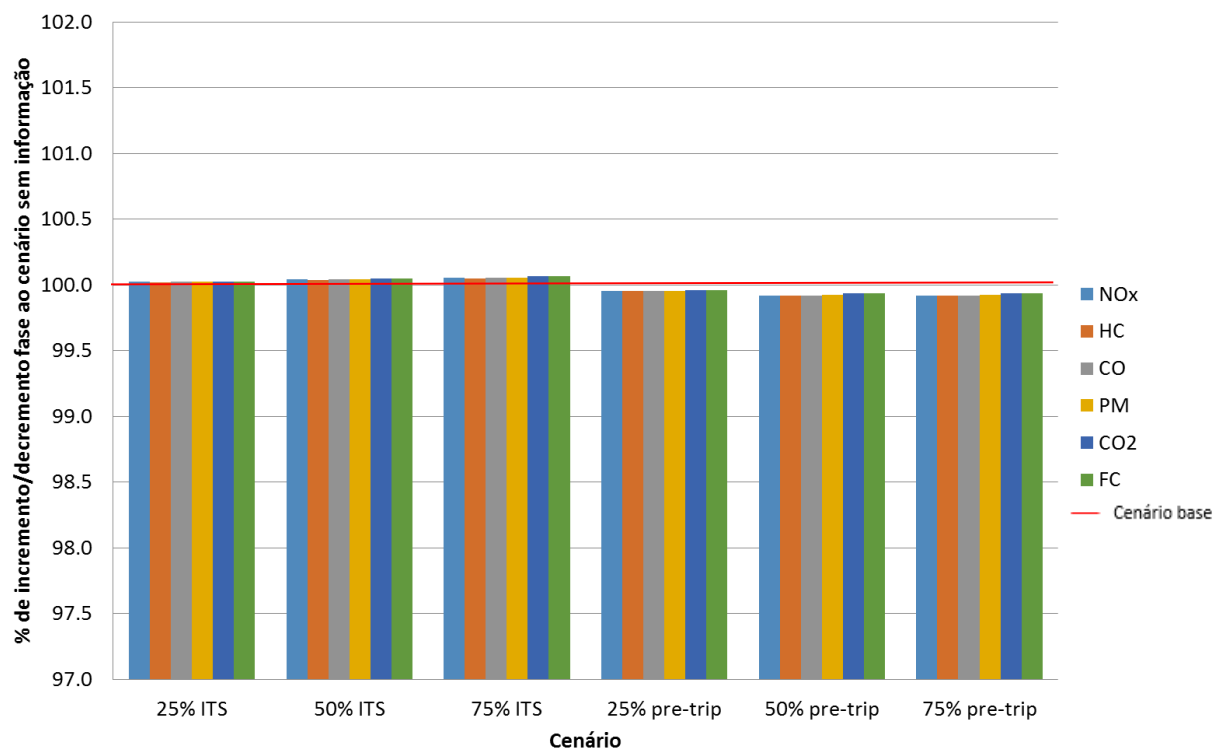
O Quadro 13 mostra as variáveis de desempenho da rede para o período de simulação (6h às 11h). Os valores são constantes para todos os cenários. Isto justifica-se por existir apenas um incidente numa via da rede, não criando assim nenhum impacto relativamente a estas variáveis. Na análise das rotas verificou-se que as rotas com sentido Sul → Norte também não são afectadas em termos de emissões, consumos e desempenho da rede.

**Quadro 13** – Variáveis de desempenho da rede para o incidente ocorrido na A29, para o período de simulação (6h às 11h).

Distância média (km)	Tempo médio (min)	Custo de portagem médio (Euros)	Velocidade média (km/h)
20,24	14,5	0,74	83

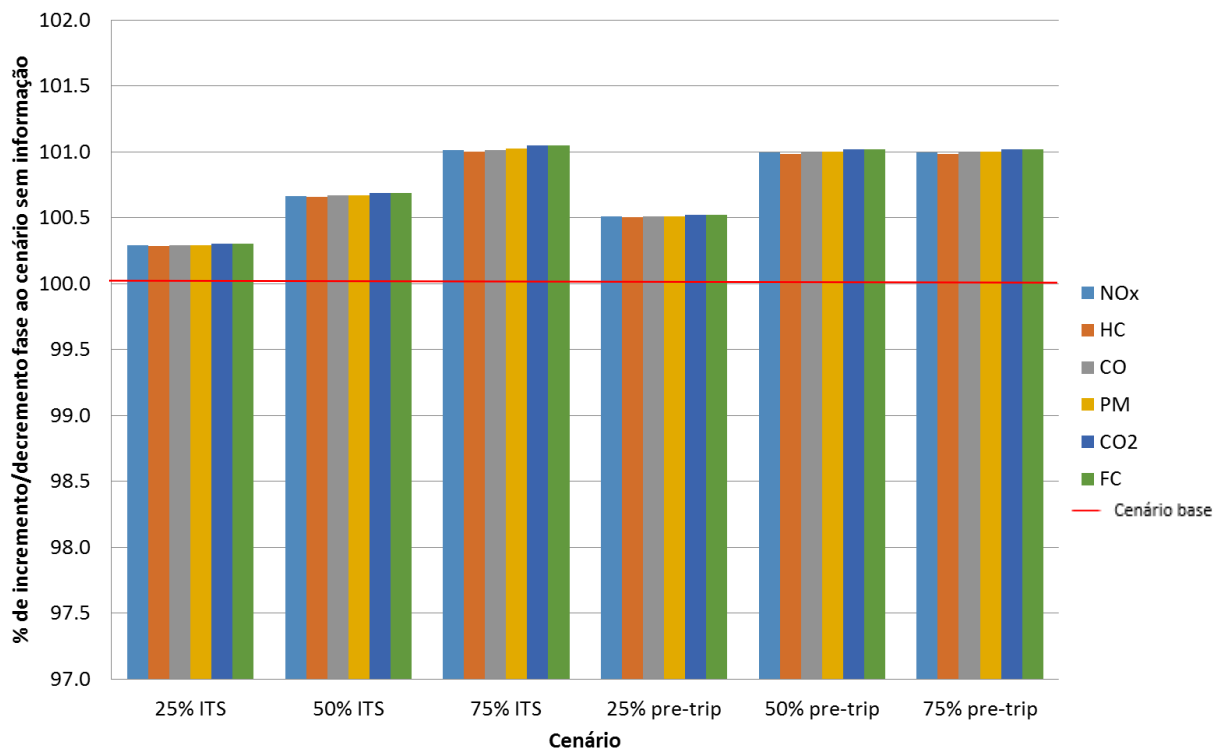
#### 4.2.2. Incidente na Rota: EN1

A Figura 31 apresenta as emissões de poluentes (NO<sub>x</sub>, HC, CO, PM e CO<sub>2</sub>) e consumo de energia estimados para a rota 4: via N109, por cenário, para o período das 8 às 9h quando ocorre um incidente na EN1. Pode-se observar que quando existe um incidente na EN1 ( direcção Sul → Norte), não existem grandes impactos na A1 face ao grau de informação existentes na rede ( $\pm 0,2\%$ ). É possível analisar que os valores das emissões e do consumo energético são todos constantes face ao tipo de informação existente na rede. No entanto, existe um ligeiro acréscimo nos valores das emissões e do consumo obtido através dos sistemas V2V/V2I em relação à informação vinda dos ITS convencionais. Deste modo, quando ocorre o incidente na EN1 ( direcção Sul → Norte) a informação vinda do V2V/V2I, faz com que os condutores utilizem mais vezes a rota 1: via A1. Como as emissões e o consumo registados na A1, mantêm-se muito semelhantes face ao cenário base, podemos concluir que esta via não é significativamente afectada pela disponibilização de vários tipos de informação quando ocorre um incidente na EN1.



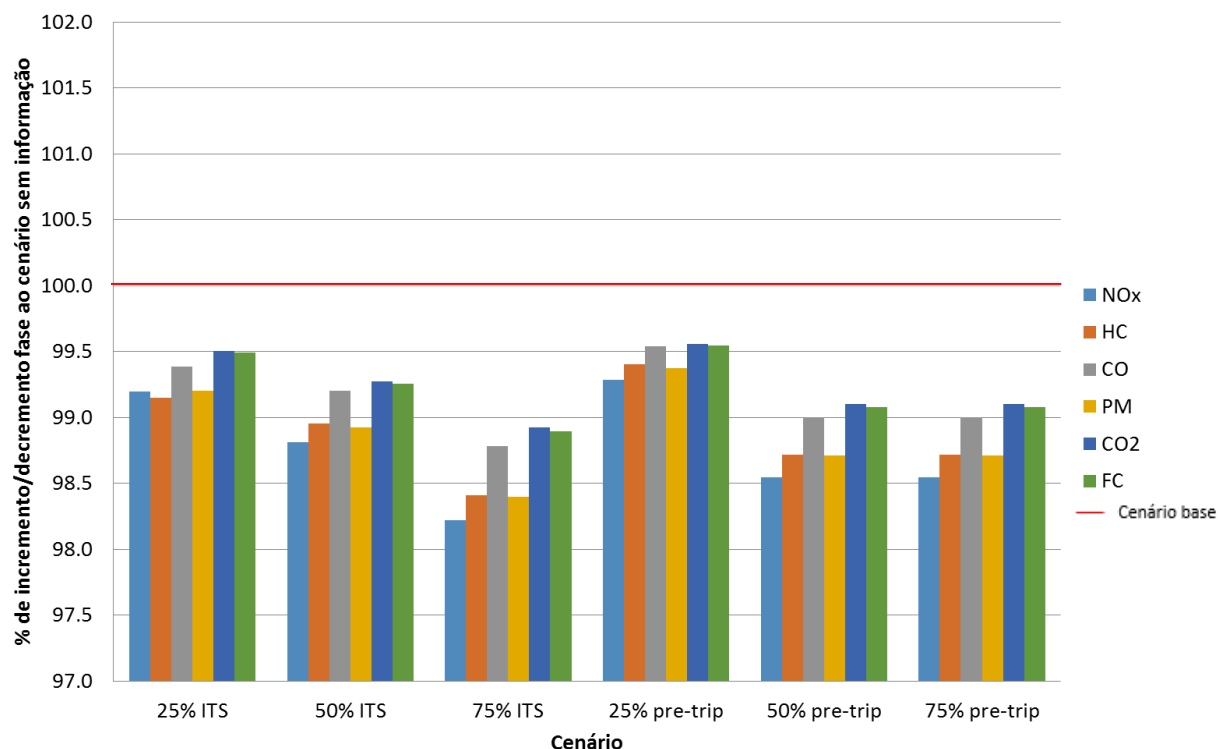
**Figura 31** – Emissões de poluentes (NO<sub>x</sub>, HC, CO, PM e CO<sub>2</sub>) e consumo de energia estimados para a rota 1: via A1, por cenário, para o período das 8 às 9h quando ocorre um incidente na EN1.

Para a rota 2 (Figura 32), o cenário mais benéfico em termos de emissões é o cenário 2 (25% ITS). Os piores cenários para esta rota em relação ao nível de emissões e do consumo são o 4, 6 e 7 (+1%). Isto significa que os condutores optam cada vez mais por esta rota consoante o aumento de informação na rede. Assim, quando existe informação vinda dos V2V/V2I, com o aumento do grau de informação na rede, os condutores optam cada vez mais pela A29 como via alternativa. Já com pré-informação da rede, os valores das emissões e do consumo são idênticos no cenário 6 e 7. Isto significa que com 50 % de pré-informação ou com 75% de pré-informação a desicção dos condutores de optarem pela A29 como rota alternativa é semelhante. Tendo em conta a informação inserida na rede, os cenários apresentam resultados superiores em relação ao cenário base, cerca de +0,8%.



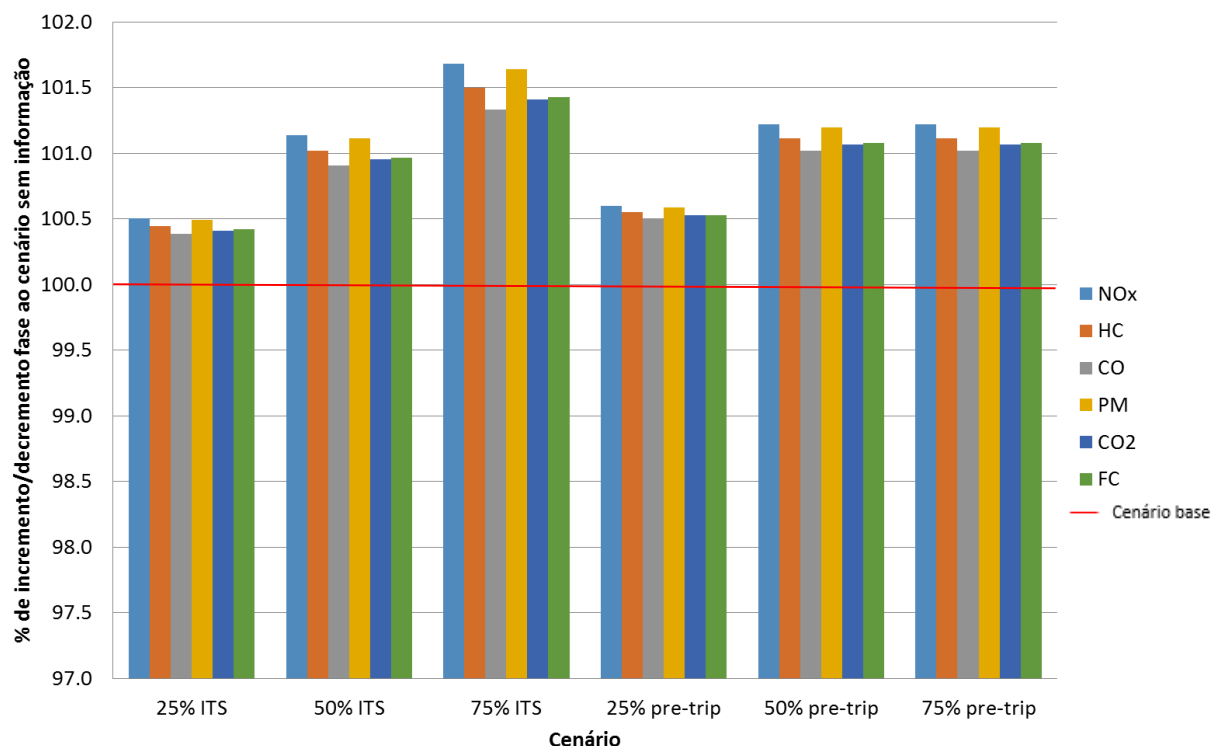
**Figura 32** – Emissões de poluentes (NO<sub>x</sub>, HC, CO, PM e CO<sub>2</sub>) e consumo de energia estimados para a rota 2: via A29, por cenário, para o período das 8 às 9h quando ocorre um incidente na EN1.

A Figura 33 apresenta as emissões de poluentes (NO<sub>x</sub>, HC, CO, PM e CO<sub>2</sub>) e consumo de energia estimados para a rota 3: via EN1, por cenário, para o período das 8 às 9h quando ocorre um incidente na EN1. Em contraste com o incidente ocorrido na A29, os piores cenários em relação ao nível de emissões e do consumo são o 2 e 5 (25% ITS/25% pré-informação). Porém, com estes cenários é possível obter reduções de cerca de 1%. Com o aumento da percentagem de condutores com informação verifica-se que há uma maior preferência por rotas alternativas. Para esta rota, os melhores são os cenários 4 e 7 (75% ITS/75% pré-informação) e que permitem reduções dos consumos e emissões de cerca de 1,5%.



**Figura 33** – Emissões de poluentes (NO<sub>x</sub>, HC, CO, PM e CO<sub>2</sub>) e consumo de energia estimados para a rota 3: via EN1, por cenário, para o período das 8 às 9h quando ocorre um incidente na EN1.

A Figura 34 apresenta as emissões de poluentes (NO<sub>x</sub>, HC, CO, PM e CO<sub>2</sub>) e consumo de energia estimados para a rota 4: via N109, por cenário, para o período das 8 às 9h quando ocorre um incidente na EN1. A análise desta rota indica que o pior cenário em relação ao nível de emissões e do consumo é o cenário 4 (75% ITS) com cerca de 1,5% de emissões e consumos, enquanto o melhor cenário é o cenário 2 (25% ITS), com um aumento de cerca de 0,5%. Isto demonstra que quando existe um grau superior de informação na rede, os condutores escolhem esta rota como alternativa. Esta rota é uma das preferências dos condutores face ao incidente na rota 3: via EN1. Este facto deve-se em grande parte à ausência de portagens, tal como na rota 3. É possível também verificar no gráfico da Figura 34 que a informação distribuída na rede através do V2V/V2I tem mais impacto na escolha das rotas alternativas por parte dos condutores. Esta rota face ao cenário base apresenta uma diferença superior a +0,93%.



**Figura 34** – Emissões de poluentes (NO<sub>x</sub>, HC, CO, PM e CO<sub>2</sub>) e consumo de energia estimados para a rota 4: via N109, por cenário, para o período das 8h às 9h quando ocorre um incidente na EN1.

O quadro 14 demonstra o balanço dos resultados relativos ao melhor/pior cenário, para as rotas quando ocorre um incidente na EN1. É visível que em termos de emissões, todas as vias, excepto a rota 3: EN1 (rota onde ocorre o incidente) têm como melhores cenários os cenários em que existe pouca informação na rede. À excepção da rota 2: A29, os piores cenários ocorrem quando existe excesso de informação na rede. Quando há informação vindo dos V2V/V2I, os condutores ao escolherem a sua nova rota vão aumentar o volume de tráfego nessa nova rota. As consequências do aumento do volume de tráfego vai ser o aumento de emissões, consumos e congestionamentos, nas rotas alternativas.

**Quadro 14** – Classificação dos cenários: incidente na EN1.

Rota	Cenários	CO <sub>2</sub>	NO <sub>x</sub>	HC	CO	PM	Consumo	Total
Rota 1: via A1	1							
	2							
	3							
	4	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-6
	5							
	6	+1	+1	+1	+1	+1	+1	+6
	7	+1	+1	+1	+1	+1	+1	+6
Rota 2: via A29	1	+1	+1	+1	+1	+1	+1	+6
	2							
	3							
	4	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-6
	5							
	6							
	7							
Rota 3: via EN1	1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-6
	2							
	3							
	4	+1	+1	+1	+1	+1	+1	+6
	5							
	6							
	7							
Rota 4: N109	1	+1	+1	+1	+1	+1	+1	+6
	2							
	3							
	4	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-6
	5							
	6							
	7							

Legenda: +1: melhor cenário; -1: pior cenário.

Ao observar as classificações dos cenários para as rotas (Quadro 15), podemos verificar que:

- ✓ Analisando as rotas da A1, A29 e N109 o cenário 4 é o cenário que apresenta níveis de consumo e de emissões mais elevados. Isto significa que o cenário mais eficiente em conseguir fazer dispersar os condutores face ao incidente, é o cenário 4;
- ✓ Quando os condutores têm 50%/75% de informação sobre o incidente, não optam pela A1 como rota alternativa.

**Quadro 15** – Resultados da classificação dos cenários por rota (A1, A29, EN1 e N109).

	MELHOR CENÁRIO	PIOR CENÁRIO
ROTA 1: A1	Cenário 6/7	Cenário 4
ROTA 2: A29	Cenário 1	Cenário 4
ROTA 3: EN1	Cenário 4	Cenário 1
ROTA 4: N109	Cenário 1	Cenário 4

O Quadro 16 apresenta os valores de desempenho da rede para o período de simulação (6h às 11h). Os valores são constantes para todos os cenários. Como verificado anteriormente, no acidente ocorrido na A29, este acidente também não cria grande impacto no desempenho da rede. Verificou-se que as rotas da direcção Norte→Sul não são afetadas em relação às emissões, ao consumo e desempenho da rede.

**Quadro 16** – Variáveis de desempenho da rede quando ocorre um incidente na EN1.

<b>Distância média (km)</b>	<b>Tempo médio (min)</b>	<b>Custo de portagem médio (Euros)</b>	<b>Velocidade média (km/h)</b>
<b>20,3</b>	<b>14,7</b>	<b>0,75</b>	<b>82,5</b>



## 5. Conclusões e trabalho futuro

O principal objetivo desta dissertação consistiu na avaliação do impacto da ocorrência de incidentes de tráfego a uma escala regional (Porto - Aveiro) ao nível energético e ambiental. Para tal, foram definidos vários cenários que avaliam diferentes graus de informação recebidos pelos condutores através de um sistema de informação de tráfego quando ocorre um incidente numa determinada via. O impacto foi avaliado em quatro rotas distintas (N109, EN1, A1 e A29) usando para isso um modelo mesoscópico de tráfego (DTALite) e um modelo de emissões rodoviárias (CORINAIR). Após validação do cenário de referência, a plataforma de simulação foi usada para avaliar o impacto ambiental do uso e disponibilidade de informação, quando ocorre um incidente de tráfego numa das vias A29 ou EN1. Os cenários foram avaliados tendo em conta as emissões de NO<sub>x</sub>, HC, PM, CO<sub>2</sub>, e o consumo de combustível.

A validação estatística da rede de tráfego permitiu verificar que:

- a) O valor do  $r^2$  relativo ao ajustamento dos fluxos de tráfego, apresentou uma diferença de 13% face ao valor óptimo. Em geral os volumes estimados são maiores do que os observados;
- b) 22% dos sensores tinham desvios de fluxos de tráfego maiores em relação aos volumes observados. Este resultado é justificado através da limitação existente na matriz O/D;
- c) Em todas as rotas analisadas, os tempos de viagem estimados mantêm-se dentro dos intervalos de confiança dos valores observados.

Através dos resultados obtidos nas simulações de tráfego e de emissões/consumos, a análise do incidente ocorrido na A29 (Norte→Sul), permitiu concluir o seguinte:

- ✓ As rotas mais utilizadas como alternativas ao incidente ocorrido na A29 são as rotas 1: A1 e a rota 3: EN1. Entre as duas rotas a mais escolhida é a A1, com um acréscimo de +1,2% nas emissões e no consumo em relação ao cenário base.
- ✓ A rota menos utilizada como alternativa ao incidente é a rota 4: N109. Nesta rota regista-se um decréscimo de - 0,22% em relação ao cenário base;
- ✓ Com o aumento de informação os condutores procuram alternar a sua rota com mais frequência.
- ✓ Nas vias onde ocorre o incidente, com o aumento de informação os veículos poluem menos e consomem menos, devido à mudança de rota;
- ✓ As rotas com um menor nível de congestionamento demonstram ser as melhores alternativas em termos de redução de consumo de combustível e emissões de CO<sub>2</sub>.

- ✓ Quando 75% dos condutores recebem informação através dos ATIS, preferem escolher a rota da N109 como uma alternativa.

Ao analisar os resultados para o incidente ocorrido na EN1 (Sul→Norte), pode-se concluir o seguinte:

- ✓ A rota da A1 não é afetada por um aumento do nível de emissões e do consumo face ao incidente ocorrido na EN1;
- ✓ A A29 tem um aumento de +0,8% em relação ao cenário base;
- ✓ A rota alternativa mais usada é a rota da N109. Existe um aumento de +0,93% face ao cenário base. Esta rota é a mais escolhida como rota alternativa, pela inexistência de portagens, como na rota da EN1;
- ✓ Com o aumento do grau de informação na rota do incidente, aumenta a procura por parte dos condutores em encontrar uma nova rota. A rota da EN1, apresenta um decréscimo de -1% nas emissões e no consumo face ao cenário base (quando os condutores não têm acesso a informação).

Através da comparação entre os dois incidentes pode-se concluir que o ocorrido na EN1 foi mais prejudicial em termos de emissões e consumo de combustível em relação ao ocorrido na A29. O incidente ocorrido na A29 e na EN1 conduz a que as emissões tenham um aumento de 0,5% de 2,5%, respetivamente, em relação à inexistência de um incidente na rede. Existiu uma maior procura dos condutores face ao incidente na A29 em comparação com o incidente na EN1.

O estudo confirma que a utilização de sistemas de informação de tráfego são uma mais-valia na redução de tempo de viagem, emissões e no consumo.

Durante a elaboração da presente Dissertação, foram identificadas algumas limitações importantes. Uma delas prende-se com a utilização do modelo DTALite. Em relação a este ponto, verificaram-se algumas dificuldades em manusear os dados na aplicação, nomeadamente devidas ao facto de:

- ✓ as variáveis de entrada no modelo são introduzidas em folhas excel, não sendo possível alterá-las directamente na interface gráfica do modelo;
- ✓ ao ajustar as viagens da matriz usando o ODME, são eliminadas as viagens da matriz com valores baixos;
- ✓ o programa não fornece o tempo total de viagem para as rotas seleccionadas manualmente o que dificulta o processo de validação.

Existiram também algumas limitações devido à falta de informação necessária para calibração do modelo de tráfego. A inexistência de informação estatística que forneça dados de ligação entre a região do Porto e Aveiro para a construção da matriz O/D constituiu uma limitação importante. A matriz inicial introduzida no simulador foi constituída pela junção de duas matrizes de duas regiões diferentes (Porto e Aveiro). Ao definir as zonas, verificou-se que existiam algumas zonas que não tinham procura devido a este problema. Assim, foram definidas viagens com valores aleatórios para preencher estas viagens da matriz.

Outra das limitações refere-se à representação dos cruzamentos no modelo de tráfego. Só se conseguiu definir com algum detalhe alguns cruzamentos nos nós de ligação. Devido à simplificação da rede, verificou-se que os tempos de viagem estimados eram superiores aos observados. Para minimizar os efeitos destas simplificações, diminuiu-se 5km/h à velocidade máxima permitida em todas as vias na rede.

De modo a dar resposta a algumas das limitações apontadas, como trabalho futuro sugere-se o seguinte:

A) Utilização de outras metodologias:

- ✓ Com dados adicionais de níveis de atividade entre Aveiro e Porto, estimar uma matriz O/D através do método dos quatro passos. Esta matriz pode ser utilizada no modelo de simulação de tráfego e comparar os resultados finais com os obtidos na presente dissertação;

B) Utilização de outros modelos:

- ✓ Utilizar outros modelos mesoscópicos e avaliar o desempenho dos resultados dos diferentes modelos para o mesmo caso de estudo desta dissertação;
- ✓ Aplicar um modelo de tráfego macroscópico para a mesma rede de estudo e comparar as diferenças entre os resultados dos dois modelos.

C) Utilização de outros cenários:

- ✓ Avaliar outros casos de estudos, como por exemplo, zonas de trabalho que exigem uma interrupção no tráfego durante um período de tempo maior e avaliar o impacto causado nas emissões de poluentes e nos consumos energéticos;
- ✓ Analisar o comportamento da rede com uma interrupção total de uma das rotas. Estudar o impacto causado.

## Referências Bibliográficas

- Ahn, K. & Rakha, H., 2008. The effects of route choice decisions on vehicle energy consumption and emissions. *Transportation Research Part D: Transport and Environment*, 13(3), pp.151–167.
- Aimsun, 2013. <http://www.aimsun.com>. *Rio de Janeiro: Olympic Family Project*. Acedido 26/2/13.
- Almeida, T.M.G., 2010. *Monitorização Experimental de Rotas Alternativas*. Universidade de Aveiro. Master's Thesis.
- APA, 2013. <http://www.apambiente.pt>. A. em 28/3/13, ed. *Agência Portuguesa do Ambiente*. Acedido em 28/3/13.
- Archer, J., 2005. *Indicators for traffic safety assessment and prediction and their application in micro-simulation modelling : A study of urban and suburban intersections*. Royal Institute of technology.
- Bandeira, J., Almeida, T., Khattak, A., M. Roupail, N & C. Coelho, M., 2012. Generating Emissions Information for Route Selection : Experimental Monitoring and Routes Characterization. *Journal of Intelligent Transportation Systems: Technology, Planning and Operations*, 17, pp.1–16.
- Bauza, R. & Gozalvez, J., 2012. Traffic congestion detection in large-scale scenarios using vehicle-to-vehicle communications. *Journal of Network and Computer Applications*, pp.1–13.
- Ben-Akiva, M.E., Gau, S., Wei, Z & Wen, Y., 2012. A dynamic traffic assignment model for highly congested urban networks. *Transportation Research Part C: Emerging Technologies*, 24, pp.62–82.
- Bigazzi, A.Y. & Figliozzi, M., 2012. Congestion and emissions mitigation: A comparison of capacity, demand, and vehicle based strategies. *Transportation Research Part D: Transport and Environment*, 17(7), pp.538–547.
- Blewitt, J.S.R., 2010. *Traffic Modelling Guidelines*, Transport for London.
- BRISA, 2013. <http://www.brisa.pt>. Acedido 12/7/13.
- Carvalho, D.O., 2011. *Escolha de Rotas - Influência da hora de ponta nos consumos e emissões*. Universidade de Aveiro. Master's Thesis.
- Casas, J., Perarnau, J. & Torday, A., 2011. The need to combine different traffic modelling levels for effectively tackling large-scale projects adding a hybrid meso/micro approach. *Procedia - Social and Behavioral Sciences*, 20, pp.251–262.
- Chen, L. & Yang, H., 2012. Managing congestion and emissions in road networks with tolls and rebates. *Transportation Research Part B: Methodological*, 46(8), pp.933–948.
- Coelho, M.C., Fontes, T., Bandeira, J., Pereira, S., Tchepel, O., Dias, D., Sá, E., Amorim, J & Borrego, C., 2014. Assessment of potential improvements on regional air quality modelling related with implementation of detailed methodology for traffic emissions estimation. *Science of the Total Environment*, 470–471, pp.127–137.
-

- Daiheng Ni, 2004. *Extension and Generalization of Newell's Simplified Theory*. Georgia Institute of Technology. PHD Thesis.
- Van Driel, C.J.G., Hoedemaeker, M. & Van Arem, B., 2007. Impacts of a Congestion Assistant on driving behaviour and acceptance using a driving simulator. *Transportation Research Part F: Traffic Psychology and Behaviour*, 10(2), pp.139–152.
- DTALite, 2013. <http://sites.google.com/site/dtalite/>. Acedido 2/4/13.
- DynusT, 2013. <http://dynust.net/>. Acedido 28/3/13.
- EEA, 2007. ROAD TRANSPORT. *Emission Inventory Guidebook*, pp.1–105.
- EEA, 2013. Transportation final energy consumption by mode (TERM 001).[www.eea.europa.eu](http://www.eea.europa.eu). *European Environment*. Acedido em 28/3/13, pp.1–96.
- EMEP/EEA, 2012. EMEP/EEA emission inventory guidebook 2009, updated May 2012. , pp.1–135.
- ERF, 2011. <http://www.irfnet.eu>. *European Road Statistic*. Acedido 28/3/13, p.[www.irfnet.eu](http://www.irfnet.eu).
- Ericsson, E., Larsson, H. & Brundell-Freij, K., 2006. Optimizing route choice for lowest fuel consumption – Potential effects of a new driver support tool. *Transportation Research Part C: Emerging Technologies*, 14(6), pp.369–383.
- Erke, A., Sagberg, F. & Hagman, R., 2007. Effects of route guidance variable message signs (VMS) on driver behaviour. *Transportation Research Part F: Traffic Psychology and Behaviour*, 10(6), pp.447–457.
- European Commission, 2011. White Paper. *European Commission Mobility & Transport*, pp.1–17.
- Flamm, B., 2009. The impacts of environmental knowledge and attitudes on vehicle ownership and use. *Transportation Research Part D: Transport and Environment*, 14(4), pp.272–279.
- Gomes, C.O.J.N.M., 2007. *Mobilidade na Cidade do Porto Análise das deslocações em transporte individual*, Porto.
- Gori, S., La Spada, S., Mannini, L., & Nigro, M., 2012. Within-Day Dynamic Estimation of Pollutant Emissions: A Procedure for Wide Urban Network. *Procedia - Social and Behavioral Sciences*, 54, pp.312–322.
- Hu, H., 2009. *Measuring the Effectiveness of Advanced Traveler Information Systems ( ATIS )*. North Carolina State University. PHD Thesis.
- IMTT, 2012. <http://www.imtt.pt>. *Instituto da Mobilidade e dos Transportes Terrestres*. Acedido 28/3/13, p.[www.imtt.pt](http://www.imtt.pt).
- Kristoffersson, I., 2013. Impacts of time-varying cordon pricing: Validation and application of mesoscopic model for Stockholm. *Transport Policy*, 28, pp.51–60.
- Muller, M., 2007. for Vehicle to Vehicle ( V2V ) DSRC Products : ROHDE & SCHWARZ, pp.1–25.
- Parsons Brinckerhoff, 2012. *San Francisco Dynamic Traffic Assignment Project Working Draft Calibration and Validation Report*.
-

- PIMTRA, 2012. *Plano Intermunicipal de Mobilidade e transportes da região de Aveiro.*,
- Primer, A., 2011. Dynamic Traffic Assignment. *Transportation Network Modeling Committee*, pp.1–39.
- Rouphail, N.M. & Hu, H., 2008. *Assessing the Utility of a Ubiquitous Transportation ( u-Transportation ) Network Using Computer Simulation*. North Carolina State University.
- Santa, J., Gómez-Skarmeta, A.F. & Sánchez-Artigas, M., 2008. Architecture and evaluation of a unified V2V and V2I communication system based on cellular networks. *Computer Communications*, 31(12), pp.2850–2861.
- Taylor, M. P., 2004. Intelligent transport systems: emerging technologies and methods in transportation and traffic. *Transportation Research Part C: Emerging Technologies*, 12(3-4), pp.167–169.
- TMIP, 2010. Travel Model Validation and Reasonableness Checking Manual. *Travel Model Improvement Program*, 2º Edition.
- Toledo, T. et al., 2010. Mesoscopic simulation for transit operations. *Transportation Research Part C: Emerging Technologies*, 18(6), pp.896–908.
- UNFPA, 2011. Pessoas e possibilidades em um mundo de 7 bilhões. *Relatório sobre a Situação da População Mundial 2011*, pp.1–9.
- Vasconcelos, A.L.P., 2004. *Modelos de Atribuição/Simulação de tráfego: O impacto na qualidade dos resultados de erros no processo de modelação*. Universidade de Coimbra. Master's Thesis.
- Vilarinho, C.A.T., 2008. *Calibração de modelos microscópicos de simulação de tráfego em redes urbanas*. Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto. Master's Thesis.
- Zhang, K., Batterman, S. & Dion, F., 2011. Vehicle emissions in congestion: Comparison of work zone, rush hour and free-flow conditions. *Atmospheric Environment*, 45(11), pp.1929–1939.
- Zhou, X. & Lu, C.J., 2009. Traffic Flow Models in DTALite., (2000), pp.1–8.

## Anexos

### Anexo 1 – Portagens aplicadas na rede de estudo.

#### Portagens na A29:

A29	Localização			Custo	
	Quilómetro	Milha	Ligação	Euros	Doláres
Salreu→Estareja	5,0	3,1	41->42/43->44	0,95	1,24
Estareja→Ovar sul	8,8	5,5	42->62/51->42	0,7	0,91
Arada→Maceda	4,0	2,5	71->66/66->67	0,65	0,85
Granja→Miramar	2,9	1,8	74->59/59->75	0,45	0,59

#### Portagens na A1:

A1	Localização			Custo	
	Quilómetro	Milha	Ligação	Euros	Doláres
Albergaria→ Estarreja	10,4	6,5	33->45/45->46	0,8	1,04
Estarreja→Feira	16,8	10,4	45->50/50->45	1,25	1,63
Feira→Espinho	9,8	6,0	50->78/78->50	0,8	1,04
Espinho→Grijó	4,0	2,5	81->78/78->81	0,6	0,78

#### Portagens na A25:

A25	Localização			Custo	
	Quilómetro	Milha	Ligação	Euros	Doláres
Barra → Aveiro	12,4	7,7	28->25/25->29	0,5	0,65
Estádio → Angeja	6,2	3,8	25->31/40->25	0,65	0,85
A25/A29 → ALBA(A1)	2,7	1,7	32->33/38->39	0,2	0,26
ALBA(A1) →nó IC2	4,7	2,9	34->35/37->38	0,6	0,78

## Anexo 2 – Tipos de estradas do modelo DTALite

<b><i>Link type</i></b>	<b><i>Link_type_name</i></b>
1	<i>Freeway</i>
2	<i>Highway/Expressway</i>
3	<i>Principal arterial</i>
4	<i>Major arterial</i>
5	<i>Minor arterial</i>
6	<i>Collector</i>
7	<i>Local</i>
8	<i>Frontage road</i>
9	<i>Ramp</i>
10	<i>Zonal Connector</i>
100	<i>Transit Link</i>
200	<i>Walking Link</i>



## Anexo 3 – Variáveis de entrada e saída do modelo de tráfego DTALite.

### Variáveis de entrada:

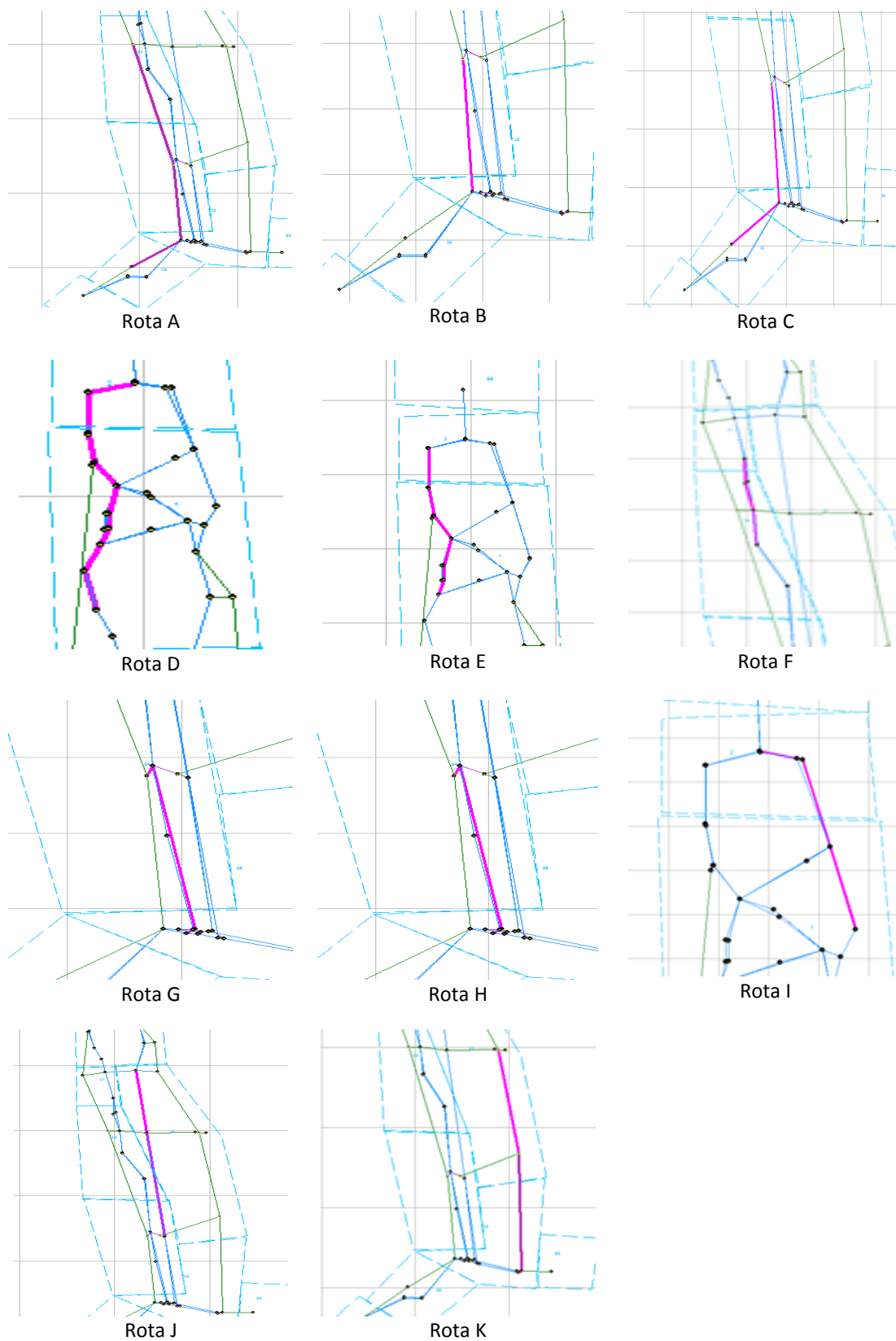
Variáveis		Unidades	Descrição
<b>NODE</b>	ID	-	Identificação de um nó
	Longitude	m	Coordenada horizontal, usada para identificar um nó
	Latitude	m	Coordenada vertical usada para identificar um nó
<b>LINK</b>	Length	m	Distância da via de tráfego entre dois nós
	Direction	-	Direção da via de tráfego
	Lanes	m	Número de vias de uma via de tráfego
	Link type	-	Tipo de via utilizada (1-autoestrada, 2-rodovia..., 100-ligação do trânsito, 200- ligação de caminhada)
	Zone	-	Identificação da zona
	Taz	-	Zona de análise de tráfego
	Speed limit	Mph	Limite máximo de velocidade
	Saturation flow	vhc/h.lane	Saturação da fluidez do tráfego
	Lane capacity	vhc/h	Número máximo de veículos entre que podem circular em cada via
	Jam density	vhc/pmpl	Densidade do tráfego
	Wave speed	Mph	Média da corrente de tráfego
<b>OPCIONAL</b>	Mode code	-	Indica o tipo de tráfego (trânsito, pedonal e etc..)
	Grade	-	Inclinação da estrada (declive)
	Geometry	-	Usado para definir o formato <i>ligação</i> e localização para a visualização do KML
	Number of left	-	Número de viragens para a esquerda
<b>INPUT DEMAND</b>	From node id	-	Identificação do nó de partida
	To node id	-	Identificação do nó de chegada
	Type of trip	-	Tipo de viagem
	Average VOT	dólar/hr	Valor médio do tempo
	Princing type	-	Identificação do tipo do tarifário (1-SOV, 2-HOV, 3-trucks)
	Percentage of pre-trip info	0-100%	Percentagem de veículos com pré-informação sobre a viagem
	Percentage of enroute information	0-100%	Percentagem de veículos com informação total sobre a viagem
<b>INPUT VOT</b>	% of travelers on VOT	%	Valor médio do tempo, atribuído ao tipo de procura
<b>INPUT VEHICLE EMISSIONS RATE</b>	Vehicle type	-	Tipo de veículo (1- veículo de passageiro, 2- veículo pesado e etc)
<b>INPUT VEHICLE EMISSIONS RATE</b>	Mean base rate total energy	kJ/h	Fator de energia associada a combustão
	Mean base rate of CO <sub>2</sub>	-	Fator de CO <sub>2</sub>

Variáveis		Unidades	Descrição
	(g/hr)	<b>g/h</b>	Fator de emissões associadas ao tipo de veículo que circula na mesma via
	Mean base rate CO	<b>g/h</b>	Fator de emissões de CO associadas ao tipo de veículo circulando na mesma via
	Mean base rate NOX	<b>g/h</b>	Fator de emissões de NO <sub>x</sub> associadas ao tipo de veículo circulando na mesma via
	Mean base rate HC	<b>g/h</b>	Fator de emissões de HC associadas ao tipo de veículo circulando na mesma via
<b>SCENARIOS</b>	Scenario incidente	-	Indica um incidente, é preciso indicar o dia, a hora de começo, hora do fim do incidente, e velocidade
	Scenario workzone	-	Indica que existe trabalho na zona, é preciso introduzir os mesmos <i>dados de entrada</i> do "scenario incidente"
	Number of vehicles	-	Número de veículos
	Charge for LOV	<b>dólar</b>	Percentagem de veículos com ocupação única
	Charge for HOV	<b>dólar</b>	Percentagem de veículos com alta ocupação
	Charge for Truck	<b>dólar</b>	Percentagem de veículos pesados de mercadorias que utilizaram as <i>ligações</i>

## Variáveis de saída:

Variável	Unidade	Descrição
<i>CPU time</i>	Minutos	Duração das iterações
<i>Average travel time</i>	Minutos	Tempo médio de viagem
<i>Average trip time</i>	Minutos	Tempo médio de viagem de cada veículo entre a OD
<i>Average waiting time at origin</i>	Minutos	Tempo de espera
<i>Average travel distance</i>	Milhas	Distância média percorrida
<i>Vehicle route switching</i>	Milhas	Porcentagem de veículos que mudam de rotas durante a simulação
<i>Number of route switching</i>	-	Número de mudanças de rotas
<i>Number of vehicles completing trips</i>	-	Número de veículos que completam as viagens
<i>Average distance network</i>	Milhas	Distância média da rede
<i>Average travel time</i>	Minutos	Tempo médio de viagem
<i>Average total energy of the network</i>	-	Energia média para a rede
<i>Average cost of each vehicle during simulation</i>	-	Custo médio para um veículo
<i>Average CO<sub>2</sub> of the network</i>	g	Emissão média de CO <sub>2</sub> para a rede
<i>Average NO<sub>x</sub> of the network</i>	g	Emissão média de NO <sub>x</sub> para a rede
<i>Average HC of the network</i>	g	Emissão média de HC para a rede
<i>Average CO of the network</i>	g	Emissão média de CO para a rede
<i>Time from node id to node id</i>	g	Tempo percorrido entre dois nós
<i>Total link volume</i>	g	Volume total numa via de circulação
<i>Lane capacity</i>	(vhc/hr)	Fluidez máxima para cada ligação
<i>Average speed</i>	(Mph)	Velocidade média de cada veículo durante o percurso da rede
<i>Percentage of speed limit</i>	%	Porcentagem de velocidade máxima de circulação (Mph)
<i>Simulated AADT</i>	-	Tráfego Médio Diário Anual (TMDA)
<i>Number of fatal crashes</i>	Crash/Year	Número total de acidentes fatais previstos
<i>Number of crashes</i>	Crash/Year	Número total de acidentes previstos
<i>Total Energy</i>	J/hr	Energia total acumulada da combustão na via de tráfego
<i>CO<sub>2</sub></i>	g/hr	Emissões totais de CO <sub>2</sub> na via de tráfego
<i>CO</i>	g/hr	Emissões totais de CO na via de tráfego
<i>NOX</i>	g/hr	Emissões totais de NOX na via de tráfego
<i>HC</i>	g/hr	Emissões totais de HC na via de tráfego
<i>Speed</i>	mph	Velocidade estimada na simulação
<i>Speed limit</i>	mph	Limite de velocidade de cada ligação (retirado do input)
<i>Distance</i>	Milhas	Distância média de cada viagem entre O/D
<i>Trip time</i>	Minutos	Tempo médio de cada viagem O/D

## Anexo 4 – Rotas usadas na validação dos tempos de viagem.



## Anexo 5 – Resultados de emissões e consumos por cenário e rota: incidente A29

### Rota 1: A1

Cenário		NOx (g)	HC (g)	CO (g)	PM (g)	CO2 (g)	FC (l)
1	sem informação	120274	25755	275657	4372	54693120	13451
2	25 % ITS	121212	25955	277807	4406	55120363	13556
3	50% ITS	122184	26163	280036	4441	55565832	13666
4	75% ITS	122488	26228	280731	4452	55702611	13699
5	25% pre trip	120976	25904	277266	4397	55015207	13530
6	50% pre-trip	121713	26062	278957	4424	55354505	13614
7	75% pre-trip	122349	26197	280417	4448	55645111	13685

Legenda: ■ Melhor ■ Pior

### Desvio padrão para os resultados da Rota 1:A1

Cenário		NOx (g)	HC (g)	CO (g)	PM (g)	CO2 (g)	FC (l)
1	sem informação	642	137	1473	23	300231	74
2	25 % ITS	655	140	1503	24	304729	75
3	50% ITS	1497	320	3430	54	684843	168
4	75% ITS	668	142	1533	24	310537	76
5	25% pre trip	641	137	1471	23	298062	73
6	50% pre-trip	638	136	1464	23	300534	74
7	75% pre-trip	572	123	1310	21	258855	64

## Rota 2: A29

Cenário		NOx (g)	HC (g)	CO (g)	PM (g)	CO2 (g)	FC (l)
1	sem informação	159759	34299	366719	5806	73449910	18063
2	25 % ITS	158717	34056	364309	5769	73019459	17957
3	50% ITS	157685	33807	361946	5733	72637241	17862
4	75% ITS	157284	33715	361022	5719	72467459	17820
5	25% pre-trip	158743	34066	364375	5769	73020785	17957
6	50% pre-trip	157652	33817	361870	5731	72571126	17846
7	75% pre-trip	156714	33602	359710	5697	72181952	17750

Legenda: ■ Melhor ■ Pior

## Desvio padrão para os resultados da Rota 2: A29

Cenário		NOx (g)	HC (g)	CO (g)	PM (g)	CO2 (g)	FC (l)
1	sem informação	478	103	1106	18	220460	54
2	25 % ITS	467	96	1066	17	220538	54
3	50% ITS	1512	317	3492	57	748752	184
4	75% ITS	570	121	1318	21	268428	66
5	25% pre-trip	661	142	1524	24	306704	75
6	50% pre-trip	619	129	1414	23	290522	71
7	75% pre-trip	1188	234	2742	46	634136	155

### Rota 3: EN1

Cenário		NOx (g)	HC (g)	CO (g)	PM (g)	CO2 (g)	FC (l)
1	sem informação	154039	30806	309609	5349	60199184	14897
2	25 % ITS	154602	30925	310852	5369	60437446	14956
3	50% ITS	155291	31065	312270	5393	60710486	15023
4	75% ITS	155378	31088	312549	5397	60763398	15036
5	25% pre trip	154457	30893	310527	5364	60377093	14941
6	50% pre-trip	154904	30987	311501	5380	60566515	14988
7	75% pre-trip	155280	31065	312317	5393	60727099	15027

Legenda: ■ Melhor ■ Pior

### Desvio padrão para os resultados da Rota 3:EN1

Cenário		NOx (g)	HC (g)	CO (g)	PM (g)	CO2 (g)	FC (l)
1	sem informação	614	108	963	19	179979	45
2	25 % ITS	602	106	943	19	175971	44
3	50% ITS	835	166	1680	28	319405	79
4	75% ITS	688	122	1115	22	212427	53
5	25% pre trip	709	125	1126	23	213359	53
6	50% pre-trip	712	124	1105	23	209015	52
7	75% pre-trip	843	152	1356	27	247322	62

#### Rota 4: N109

Cenário		NOx (g)	HC (g)	CO (g)	PM (g)	CO2 (g)	FC (l)
1	sem informação	79459	14304	116187	2555	20511625	5185
2	25 % ITS	79283	14264	115788	2549	20446871	5169
3	50% ITS	78993	14205	115252	2540	20356854	5146
4	75% ITS	79054	14211	115268	2541	20362758	5148
5	25% pre trip	79568	14310	116120	2558	20508983	5185
6	50% pre-trip	79710	14321	116087	2562	20512964	5186
7	75% pre-trip	79827	14330	116072	2565	20517910	5188

Legenda:  Melhor  Pior

#### Desvio Padrão para os resultados da Rota 4: N109

Cenário		NOx (g)	HC (g)	CO (g)	PM (g)	CO2 (g)	FC (l)
1	sem informação	557	93	691	18	126993	32
2	25 % ITS	567	95	716	18	130915	33
3	50% ITS	786	135	1047	25	188296	48
4	75% ITS	784	130	974	25	178854	46
5	25% pre trip	770	128	948	24	174562	45
6	50% pre-trip	792	131	965	25	178101	46
7	75% pre-trip	469	74	530	15	99108	25



## Anexo 6 - Resultados de emissões e consumo por cenário e rota: incidente EN1

### Rota 1: A1

Cenário		NOx (g)	HC (g)	CO (g)	PM (g)	CO2 (g)	FC (l)
1	sem informação	130263	27846	298771	4743	59520951	14637
2	25 % ITS	130292	27852	298837	4744	59536428	14641
3	50% ITS	130316	27857	298893	4745	59550147	14644
4	75% ITS	130332	27860	298930	4746	59559686	14646
5	25% pre trip	130204	27833	298636	4741	59497676	14631
6	50% pre-trip	130159	27822	298534	4740	59481252	14627
7	75% pre-trip	130159	27822	298534	4740	59481252	14627

Legenda: ■ Melhor ■ Pior

### Desvio Padrão para os resultados da Rota 1:A1

Cenário		NOx (g)	HC (g)	CO (g)	PM (g)	CO2 (g)	FC (l)
1	sem informação	591	125	1357	22	281098	69
2	25 % ITS	568	120	1304	21	270542	66
3	50% ITS	589	125	1354	22	280809	69
4	75% ITS	589	125	1353	22	280311	69
5	25% pre trip	580	123	1332	21	276039	68
6	50% pre-trip	603	128	1386	22	286818	70
7	75% pre-trip	603	128	1386	22	286818	70

## Rota 2: A29

Cenário		NOx (g)	HC (g)	CO (g)	PM (g)	CO2 (g)	FC (l)
1	sem informação	145959	31312	335094	5307	66669604	16396
2	25 % ITS	146381	31401	336065	5323	66869648	16445
3	50% ITS	146931	31518	337328	5343	67129185	16509
4	75% ITS	147438	31625	338494	5361	67369071	16568
5	25% pre-trip	146702	31469	336800	5334	67017194	16482
6	50% pre-trip	147407	31619	338422	5360	67347783	16563
7	75% pre-trip	147407	31619	338422	5360	67347783	16563

Legenda: ■ Melhor ■ Pior

## Desvio Padrão para os resultados da Rota 2: A29

Cenário		NOx (g)	HC (g)	CO (g)	PM (g)	CO2 (g)	FC (l)
1	sem informação	620	132	1427	23	295261	73
2	25 % ITS	753	161	1731	28	355816	87
3	50% ITS	685	146	1575	25	325808	80
4	75% ITS	667	142	1533	24	316746	78
5	25% pre-trip	671	143	1544	25	317835	78
6	50% pre-trip	675	144	1553	25	320096	79
7	75% pre-trip	675	144	1553	25	320096	79

### Rota 3: EN1

Cenário		NOx (g)	HC (g)	CO (g)	PM (g)	CO2 (g)	FC (l)
1	sem informação	188192	38589	387204	6644	75376308	18638
2	25 % ITS	186679	38261	384833	6591	75003598	18544
3	50% ITS	185950	38185	384109	6572	74829985	18499
4	75% ITS	184843	37975	382481	6537	74563770	18432
5	25% pre trip	186842	38360	385419	6602	75040315	18553
6	50% pre-trip	185454	38095	383324	6558	74698535	18466
7	75% pre-trip	185454	38095	383324	6558	74698535	18466

Legenda: ■ Melhor ■ Pior

### Desvio padrão para os resultados da Rota 3: EN1

Cenário		NOx (g)	HC (g)	CO (g)	PM (g)	CO2 (g)	FC (l)
1	sem informação	598	113	896	19	141555	36
2	25 % ITS	1293	394	2627	56	352555	89
3	50% ITS	607	105	737	19	113274	29
4	75% ITS	445	78	611	12	91410	23
5	25% pre trip	615	110	816	19	129050	33
6	50% pre-trip	474	82	609	14	92989	23
7	75% pre-trip	474	82	609	14	92989	23

## Rota 4: N109

Cenário		NOx (g)	HC (g)	CO (g)	PM (g)	CO2 (g)	FC (l)
1	sem informação	64118	11953	100310	2077	17431443	4389
2	25 % ITS	64441	12006	100697	2088	17503150	4408
3	50% ITS	64847	12074	101217	2100	17597904	4432
4	75% ITS	65194	12132	101647	2111	17677027	4452
5	25% pre trip	64502	12019	100815	2090	17522887	4413
6	50% pre-trip	64899	12086	101335	2102	17617046	4437
7	75% pre-trip	64899	12086	101335	2102	17617046	4437

Legenda: ■ Melhor ■ Pior

## Desvio Padrão para os resultados da Rota 4: N109

Cenário		NOx (g)	HC (g)	CO (g)	PM (g)	CO2 (g)	FC (l)
1	sem informação	494	81	588	16	109182	28
2	25 % ITS	422	69	503	13	93104	24
3	50% ITS	472	76	552	15	102938	26
4	75% ITS	516	84	612	16	113702	29
5	25% pre trip	514	83	606	16	112794	29
6	50% pre-trip	519	84	605	16	112927	29
7	75% pre-trip	519	84	605	16	112927	29